

KASVILLISUUSTUTKIMUS DIGITAALISTEN VALOKUVIEN JA SEGMENTOINTIIN PERUSTUVAN KUVA-ANALYYSIN AVULLA

Outi Kankaanpää
Maisterintutkielma
Helsingin yliopisto
Maataloustieteiden laitos
Agroekologia
Maaliskuu 2013

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos — Institution — Department Maataloustieteiden laitos	
Tekijä — Författare — Author Outi Kankaanpää			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Kasvillisuustutkimus digitaalisten valokuvien ja segmentointiin perustuvan kuva-analyysin avulla			
Oppiaine — Läroämne — Subject Agroekologia			
Työn laji — Arbetets art — Level Maisterintutkielma	Aika — Datum — Month and year Maaliskuu 2013	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 70 s. + 1 liite	
<p>Tiivistelmä — Referat — Abstract</p> <p>Maataloustuotannon tehostumisen seurauksena suomalaisen maatalousympäristön luonnon monimuotoisuus on viime vuosikymmeninä köyhtynyt. Monimuotoisuutta edistävien toimenpiteiden vaikutusten seuraaminen tarkkojen, tehokkaiden ja toistettavien arviointimenetelmien avulla on ensiarvoisen tärkeää. Tässä tutkimuksessa keskitytään pelkästään kasvien lajistollisen ja rakenteellisen monimuotoisuuden arviointiin.</p> <p>Yksi yleisimmistä tavoista mitata kasvilajiston monimuotoisuutta on kasvuston peittävyden arviointi, joka on tehty perinteisesti piste-, linja- ja ruutumenetelmillä. Perinteisten menetelmien on todettu olevan työläitä, aikaavieviä, subjektiivisia ja heikosti toistettavissa. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, voitaisiinko kasvillisuustutkimuksia täydentää digitaalisen valokuvauksen ja segmentointiin perustuvan kuva-analyysin avulla.</p> <p>Kysymykseen pyrittiin vastaamaan vertaamalla visuaalista menetelmää ja valokuvausmenetelmää toisiinsa 30 tutkimusruudulla. Visuaalinen menetelmä perustui tutkijan silmämääräiseen arvioon kasvuston kokonaispeittävydestä. Valokuvausmenetelmässä otettiin kuva kasvuston päällyskerroksesta noin 1,5 metrin korkeudelta kohtisuoraan alaspäin ja selvitettiin Definiens -kuva-analyysiohjelman avulla paljaan maan, karikkeen sekä yksi- ja kaksisirkkaisten kasvilajien peittävydet. Aineisto kerättiin kesällä 2011 Pirkanmaan luonnonhoitopelloilta ja Helsingin Viikin kasvipeitteiltä kesannoilta.</p> <p>Visuaalisella ja valokuvausmenetelmällä saatujen peittävyysarvioiden välillä oli selkeä yhteys, joten valokuvausmenetelmän voidaan olettaa sopivan hyvin kasvuston peittävyden arviointiin. Menetelmän avulla ei ole kuitenkaan mahdollista saada varmaa tietoa tutkimusruudun kasvilajirikkaudesta tai kasvuston rakenteellisista ominaisuuksista. Aineiston kerääminen maastossa valokuvausmenetelmällä oli visuaalista menetelmää nopeampaa, mutta ajansäästöä ei syntynyt, sillä kuva-analyysi vei odotettua enemmän aikaa käytetyn tietokoneen tehottomuuden takia.</p> <p>Tutkimus antoi tärkeää teoreettista ja käytännön tietoa valokuvausmenetelmän vahvuuksista ja heikkouksista. Valokuvausmenetelmä on vasta kehitysasteella, joten lisää tutkimusta tarvitaan, jotta menetelmän olisi mahdollista päästä laajempaan käyttöön.</p>			
<p>Avainsanat — Nyckelord — Keywords</p> <p>Kasvillisuus, monimuotoisuus, maatalousympäristö, peittävyys, arviointimenetelmät, valokuvaus, kuva-analyysi</p>			
<p>Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited</p> <p>Maataloustieteiden laitos ja Viikin kampuskirjasto</p>			
<p>Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information</p> <p>Työtä ohjasi dosentti Irina Herzon</p>			

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos — Institution — Department Department of Agricultural Sciences	
Tekijä — Författare — Author Outi Kankaanpää			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Digital photographs and object-based image analysis in vegetation surveys			
Oppiaine — Läroämne — Subject Agroecology			
Työn laji — Arbetets art — Level Master's thesis		Aika — Datum — Month and year March 2013	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 70 p. + 1 appendix
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>Loss of biodiversity in the Finnish agricultural environment has increased during the last decades due to the agricultural intensification. Accurate, efficient and repeatable sampling methods are important to follow the impacts of the measures to enhance biodiversity. This study focuses on the assessment of vegetation structure and species diversity.</p> <p>Vegetation cover is one of the most common measures to assess vegetation biodiversity. Cover data is usually collected by a point intercept method, a line intercept method or by visual estimation in quadrats. Traditional methods have been found to be laborious, time-consuming and subjective, and having poor repeatability. The main objective of this study was to find out if it is possible to improve vegetation surveys with digital photographs and an object-based image analysis.</p> <p>To answer this question, a visual method (VM) was compared with a photographic method (PM). The VM was based on ocular estimation of the total vegetation cover. In the PM, pictures of the top cover were taken vertically downward from 1.5 meters above the ground. Using a software program called Definiens, the photographs were divided into segments, which were then classified into bare ground, litter, monocots and dicots to estimate the covers for each category. The data was collected during the summer 2010 from environmental fallows and set-asides.</p> <p>There was a clear correlation between the cover measures in the VM and the PM, so it can be assumed that the PM is suitable for the assessment of the vegetation cover. However, using only the PM, it is not possible to get a reliable estimate of the vegetation structure or species diversity. It was faster to collect the data in the field with the PM than with the VM. The computer used in this survey was inefficient, thus the image analysis took more time than expected and as a result the PM was in its entirety slower than the VM.</p> <p>The study gave important theoretical and practical information about the photographic method, its strengths and weaknesses. Photographic methods are still under development and further research is needed but they hold promise for the future.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Vegetation, biodiversity, agricultural environment, cover, sampling methods, photography, image analysis			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Department of Agricultural Sciences and Viikki Campus Library			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Supervisor docent Irina Herzon			

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 KASVILAJISTON MONIMUOTOISUUDEN ARVIOINTI MAATALOUSYMPÄRISTÖSSÄ	7
2.1 Maatalouden ympäristövaikutusten seuranta	7
2.2 Kasvilajiston monimuotoisuutta kuvaavat muuttujat	9
2.3 Perinteiset kasvuston peittävyysarviointimenetelmät	10
2.3.1 Visuaaliset ruutumenetelmät	12
2.3.2 Linjamenetelmät	16
2.3.3 Pistemenetelmät	17
2.3.4 Perinteisten menetelmien vertailu	19
2.4 Valokuviin ja kuva-analyysihin perustuvat kasvuston peittävyyden arviointimenetelmät	21
2.4.1 Valokuvausmenetelmät käytännössä	21
2.4.2 Valokuvausmenetelmien vahvuudet	24
2.4.3 Valokuvausmenetelmien haasteet	25
2.4.4 Muut mahdollisuudet käyttää valokuvia kasvillisuustutkimuksissa	28
3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET	29
4 AINEISTO JA MENETELMÄT	31
4.1 Aineiston kerääminen	31
4.2 Aineiston käsittely ja analysointi	34
4.2.1 Kuva-analyysi	34
4.2.2 Tilastollinen analyysi	39
5 TULOKSET	40
5.1 Erot peittävyyden arvioinnissa valokuvausmenetelmän ja visuaalisen menetelmän välillä	40
5.2 Kasvilajirikkauden ja kasvuston rakenteellisten ominaisuuksien arviointi valokuvausmenetelmällä saatujen peittävyysarvioiden avulla	44
5.3 Valokuvausmenetelmän ja visuaalisen menetelmän vaatima ajankäyttö	46
6 TULOSTEN TARKASTELU	48
6.1 Erot peittävyyden arvioinnissa valokuvausmenetelmän ja visuaalisen menetelmän välillä	48

6.2 Kasvilajirikkauden ja kasvuston rakenteellisten ominaisuuksien arviointi valokuvausmenetelmällä saatujen peittävyysarvioiden avulla	49
6.3 Valokuvausmenetelmän ja visuaalisen menetelmän vaatima ajankäyttö	51
6.4 Valokuvausmenetelmän SWOT-analyysi	53
6.5 Tulosten epävarmuustekijöitä	55
6.6 Valokuvausmenetelmän käyttömahdollisuuksia, kehittäminen ja lisätutkimuksen tarve	56
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	60
8 KIITOKSET	62
LÄHTEET	63
LIITTEET.....	71
Liite 1: Esimerkkikuvia tutkimusruuduilta	71

1 JOHDANTO

Luonnon monimuotoisuuden köyhtyminen on yksi tämän päivän vakavimmista maailmanlaajuisista ympäristöongelmista. Luonnon monimuotoisuudella tarkoitetaan paitsi eliölajien runsautta, myös niiden perinnöllistä vaihtelua sekä elinympäristöjen moninaisuutta. Tässä tutkimuksessa keskitytään pelkästään kasvien lajistolliseen ja rakenteelliseen monimuotoisuuteen. Sen on kuitenkin todettu tukevan myös muiden eliöryhmien, kuten lintujen ja pölyttäjähönteisten, monimuotoisuutta (Aakkula ym. 2010). Kasvilajiston inventointi on vähätöisempää ja helpommin toistettavissa kuin muiden eliöryhmien inventoinnit. Kasviyhteisöjen monimuotoisuus on jo itsessään arvokasta, mutta kasvillisuuden seurannoilla voidaan selvittää, kuinka esimerkiksi ilmastonmuutos tai eroosio alueella etenee tai kuinka erilaiset hoitotoimenpiteet vaikuttavat monimuotoisuuteen tai uhanalaisten kasvilajien esiintymiseen.

Kasvilajiston monimuotoisuuden arviointiin maastossa on monia näytteenottomenetelmiä, joista tarkimmaksi on todettu biomassan mittaaminen (Chapman 1976, s. 97, Bråkenhielm ja Qinghong 1995). Usein kasvustoa ei kuitenkaan haluta tuhota, koska se on hyvin työlästä ja aikaavievää, alueella esiintyy uhanalaisia tai harvinaisia kasvilajeja tai suoritetaan pidempiaikaista, toistuvaa seurantaa (Bråkenhielm ja Qinghong 1995). Tämän vuoksi kasvilajiston monimuotoisuuden mittaamiseen on kehitetty muitakin menetelmiä, joista tärkeimmät ovat tiheys, frekvenssi ja peittävyys. Tässä tutkimuksessa keskitytään pääasiassa kasvuston peittävyyteen.

Perinteisesti kasvuston peittävyys on arvioitu piste-, linja- ja ruutumenetelmillä, mutta niiden on todettu olevan työläitä, aikaavieviä, ja usein sekä subjektiivisia että heikosti toistettavissa. Lisäksi eri menetelmillä kerätyt aineistot ovat usein keskenään yhteensopimattomia, jolloin tieto jää hajanaiseksi, eikä sitä voida hyödyntää kunnolla. Nykypäivän teknologia antaa mahdollisuuden uusille menetelmille, jotka perustuvat digitaalisten valokuvien ja kuva-analyysiohjelmien käyttöön. Tällä hetkellä valokuvausmenetelmillä ei ole kuitenkaan mahdollista selvittää tarkasti tutkimusalueen lajirikkautta, vaan ainoastaan tiettyjen kasvilajiryhmien peittävyyksiä. Menetelmä onkin vasta kehitysvaiheessa. Tämä tutkimus pyrkii osaltaan vastaamaan siihen, voisiko valokuvausmenetelmä

täydentää kasvuston peittävyysarviointia tarjoamalla tarkan, objektiivisen, toistettavan ja tehokkaan menetelmän.

Tämä pro gradu -työ liittyy Maa- ja metsätalousministeriön rahoittamaan Luonnonhoitopeltojen ympäristöhyödyt -tutkimushankkeeseen, joka toteutettiin Helsingin yliopiston Maataloustieteiden laitoksella vuosina 2010–2011.

2 KASVILAJISTON MONIMUOTOISUUDEN ARVIOINTI MAATALOUSYMPÄRISTÖSSÄ

2.1 Maatalouden ympäristövaikutusten seuranta

Maanviljely ja karjanhoito vaikuttavat monella tapaa ympäristöömme. Maatalous on vesistöjemme suurin yksittäinen ravinnekuormittaja (Turtola ja Lemola 2008) ja se myös voimistaa kasvihuoneilmiötä, kun tuotannosta vapautuu hiilidioksidia, dityppioksidia ja metaania (Aakkula ym. 2010). Maatalousalueet ovat lisäksi tärkeitä elinympäristöjä monille eläin- ja kasvilajeille – Suomessa esimerkiksi päiväperhoslajeista 70 % elää ensisijaisesti maatalousympäristössä ja lähes kaikki muuttolintulajit käyttävät peltoja levähdys- ja ruokailualueina (Tiainen ym. 2004, s. 18). Maataloustuotannon tehostumisen seurauksena suomalaisen maatalousympäristön luonto on kuitenkin viime vuosikymmeninä köyhtynyt ja päästöt ilmakehään ja vesistöihin lisääntyneet. Tämän vuoksi on tärkeää, että maatalouden vaikutuksia ympäristöön seurataan tarkasti ja negatiivisia vaikutuksia pyritään vähentämään.

Maatalouden ympäristövaikutukset riippuvat viime kädessä viljelijän toimista ja päätöksistä, joihin voidaan vaikuttaa maatalouspolitiikan avulla. Suomen liittyminen Euroopan Unioniin (EU) vuonna 1995 merkitsi suurta muutosta maatalouspolitiikassa. Ympäristön kannalta tärkein muutos liittyi EU:n osittain rahoittamaan maatalouden ympäristötukeen. Sen tavoitteina on muun muassa vähentää ravinne- ja torjunta-ainepäästöjä sekä ylläpitää luonnon monimuotoisuutta ja maisemaa (MMM 2000). Maa- ja metsätalousministeriön rahoittamassa Maatalouden ympäristötuen vaikuttavuuden seurantatutkimuksessa (MYTVAS) on ympäristötuen alusta alkaen tutkittu sen vaikutuksia ympäris-

töön, erityisesti vesistökuormitukseen ja luonnon monimuotoisuuteen (Aakkula ym. 2010). Ympäristötuki jakautuu kolmeen osaan: perus- ja lisätoimenpiteisiin sekä erityistukisopimuksiin. Suomessa ympäristötukea maksetaan vuosittain noin 300 miljoonaa euroa, joka on noin neljännes viljelijöiden maataloustuloista ja kolmannes Suomen valtion vuosittaisista ympäristönsuojelumenoista (Kuussaari ym. 2008). Noin 94 % Suomen peltoalasta on ympäristötuen piirissä (Aakkula ym. 2010), joten ympäristötuen alueellinen vaikutus on todennäköisesti suuri.

Ympäristötuen lisäksi kesannointivelvoite on osoittautunut ympäristön kannalta merkittäväksi toimenpiteeksi. Maataloustuotteiden kysynnän kasvun takia siitä kuitenkin luovuttiin EU:ssa vuoden 2008 lopussa. Kesannointivelvoitteen päättymisestä arveltiin olevan haittaa maatalousluonnolle (IEEP 2008), minkä vuoksi luonnonhoitopellot lisättiin vuonna 2009 uutena vapaaehtoisena toimenpiteenä Suomen maatalouden ympäristötukijärjestelmään (Herzon ym. 2010). Luonnonhoitopeltojen avulla pyritään edistämään luonnon monimuotoisuutta ja vesiensuojelua, parantamaan maan rakennetta sekä vähentämään kasvinsuojeluaineiden käyttöä (MMM 2009, Toivonen ym. 2013). Luonnonhoitopellot jaetaan monimuotoisuuspeltoihin sekä monivuotisiin nurmipeltoihin. Ensin mainitut jaotellaan edelleen riista-, maisema- ja niittykasveilla kylvettyihin peltoihin (Toivonen ym. 2013). Vuosina 2009–2012 luonnonhoitopeltoja on ollut 5,7–7,1 % Suomen peltoalasta (Tike 2010, 2013), ja luonnonhoitopeltojen perustamisesta ja hoidosta on maksettu tukea vuosittain noin 30 miljoonaa euroa (Herzon ym. 2012). Luonnonhoitopellot eivät ehtineet mukaan kolmatta ympäristötukikautta tutkivaan MYTVAS-hankkeeseen, joka alkoi vuonna 2008. Tämän vuoksi Helsingin yliopistolla käynnistettiin vuonna 2010 Maa- ja metsätalousministeriön rahoittama hanke selvittämään luonnonhoitopeltojen ympäristövaikutuksia. Tämä tutkimus on osa edellä mainittua hanketta, minkä vuoksi tutkimuksessa on mukana ainoastaan luonnonhoitopeltojen ja muiden kesantojen kasvillisuutta.

On tärkeää huolehtia, että ympäristötukeen käytettävä suuri taloudellinen panostus todella parantaa ympäristön tilaa. Tätä varten tarvitaan konkreettisia mittareita, joiden avulla voidaan seurata, kuinka esimerkiksi erilaiset hoitotoimenpiteet vaikuttavat luonnon monimuotoisuuteen. Käytettävien arviointimenetelmien on oltava paitsi tarkkoja ja toistettavia myös tehokkaita. Ajan- ja rahanpuute ovat keskeisimpiä ongelmia maasto-

tutkimuksissa, minkä vuoksi nopeille ja edullisille menetelmille on selkeä tarve ja kysyntä.

2.2 Kasvilajiston monimuotoisuutta kuvaavat muuttujat

Kasvilajiston monimuotoisuus ei tarkoita pelkästään kasvilajien tai -ryhmien lukumäärää tietyssä kasviyhteisössä, vaan myös lajien tai ryhmien suhteellista runsautta. Vaikka kasviyhteisö koostuisi useista eri kasvilajeista, mutta suurin osa yksilöistä on samaa lajia, on yhteisön monimuotoisuus pieni. Tämän vuoksi pelkkä lajirikkaus ei riitä kuvaamaan kasvilajiston monimuotoisuutta, vaan kasviyhteisöstä on tarpeen arvioida myös muita kasvilajiston monimuotoisuutta kuvaavia muuttujia.

Kasvuston peittävyden arviointi on yksi yleisimmistä tavoista kuvata kasvustoa kvantitatiivisesti, koska se tasapainottaa keskenään kooltaan pienet mutta yleiset sekä kooltaan suuret mutta harvinaiset kasvilajit (Elzinga ym. 2001, s. 218). Peittävyys arvioidaan tai mitataan joko koko kasvustolle, tietyille kasvilajiryhmille tai erikseen jokaiselle kasvilajille. Viimeisenä mainitussa vaihtoehdossa kartoitetaan samalla tutkimusalueen lajirikkaus. Barbourin ym. (1999, s. 216) mukaan peittävyys tarkoittaa kasvien lehvästön peittämää osuutta tutkimusruudusta. Kasvilajiston kerrostuneisuuden vuoksi kokonaispeittävyys voi ylittää 100 %. Kun tarkastellaan pelkästään kasvuston ylimmäistä kerrosta, käytetään termiä päällyskerroksen peittävyys (engl. *top cover*), ja enimmäisarvona on tällöin 100 %. Joskus arvioidaan myös tyvi-peittävyys (engl. *basal cover*), jolla tarkoitetaan kasvin peittävyyttä maanpinnan tasolla eli ilman lehvästöä. Tyvi-peittävyys on kokonais- ja päällyskerroksen peittävyyttä vähemmän riippuvainen kausittaisista vaihteluista ja häiriöistä (Zerger ym. 2012). Kasvuston peittävyyttä voidaan arvioida myös muun muassa lehtiala-indeksin ja kasvillisuuskerrosten lukumäärän avulla (Wilson 2011).

Lajirikkauden ja peittävyyden lisäksi kasvustosta voidaan mitata tai arvioida monia muitakin monimuotoisuutta kuvaavia muuttujia, joista yleisimmät ovat tiheys, frekvenssi ja biomassa. Wilsonin (2011) mukaan kasvilajiston monimuotoisuuden arvioimiseen liittyviä termejä käytetään usein epä johdonmukaisesti ja jopa väärin. Frekvenssillä tarkoitetaan kasvin suhteellista esiintymistiheyttä, kun taas tiheydellä kasviyksilöiden

tai -versojen määrää tietyllä alueella (Barbour ym. 1999, s. 223). Jos kyse on esimerkiksi puista tai pensaista, on tiheyden mittaaminen suhteellisen yksinkertaista, mutta kasvullisesti leviävien lajien mittaaminen tällä tavoin on usein ongelmallista (Wilson 2011). Tämän vuoksi tiheyttä usein kuvataankin sanallisesti tai arvioidaan luokka-asteikon tai esimerkiksi mittatikun avulla, kuten tässä tutkimuksessa. Pelkkä tiheys tai frekvenssi kuitenkin sivuuttaa yksittäisten kasvilajiyksilöiden huomattavan kokovaihtelun, joten tässä suhteessa peittävyys kuvaa monimuotoisuutta niitä paremmin (Daubenmire 1959, Dietz ja Steinlein 1996).

Mikäli kasvuston ei tarvitse säilyä koskemattomana, voidaan mitata myös biomassa ja sen avulla tiettyjen kasvilajien tuore- ja/tai kuivapainot, jolloin saadaan hyvin tarkka arvio kasvilajien todellisista peittävyyksistä. Biomassan mittaaminen on kuitenkin työlästä ja vie paljon aikaa. Kasvuston tuhoamista ei myöskään suosita pidempiaikaisen seurannan tai alueella esiintyvien uhanalaisten tai harvinaisten kasvilajien takia (Chapman 1976, s. 97). Biomassan ja peittävyyden välillä on havaittu selkeä lineaarinen yhteys (Röttgermann ym. 2000, Muukkonen ym. 2006), joten arvioimalla pelkästään kasvuston peittävyys voidaan kasvustoa tuhoamatta arvioida myös sen biomassa. Tässä tutkimuksessa keskitytään pääasiassa kasvuston peittävyyteen.

2.3 Perinteiset kasvuston peittävyyden arviointimenetelmät

Kasvuston peittävyyden arviointiin on kehitetty useita erilaisia menetelmiä, jotka perinteisesti jaetaan kolmeen luokkaan: piste-, linja- ja ruutumenetelmät. Elzingan ym. (2001, s. 226) mukaan ei ole olemassa yksiselitteisesti oikeaa vastausta siihen, mikä menetelmästä on paras. Menetelmän valinta riippuu tutkimuksen tavoitteista, käytettävissä olevista resursseista, tutkimusalueen kasvillisuudesta ja myöhemmin käytettävistä tilastollisista analyysimenetelmistä (Jukola-Sulonen ja Salemaa 1985). Kaikki perinteiset menetelmät perustuvat otantaan, jossa poimittujen havaintoyksikköjen perusteella tehdään päätelmiä koko perusjoukosta. Tämän vuoksi maastotutkimusta suunniteltaessa on tärkeää selvittää sopiva tutkimusruutujen, -linjojen tai -pisteiden määrä, koko ja sijoittelu tutkimusalueella. On myös päätettävä tehdäänkö tutkimus kertaluontoisesti vai toistuvasti. Pitkän aikavälin seurannoissa virhelähteenä voi olla tutkimusruudun tai -linjan väärä paikannus, mikä johtaa väärän alueen kasvuston inventointiin (Milberg

ym. 2008). Kaikkia kolmea menetelmää on käytetty kasvillisuuden kartoituksissa jo yli 50 vuotta, ja menetelmät ovatkin ajan myötä hioutuneet ja kehittyneet (Elzinga ym. 2001, s. 219).

Eri menetelmiä ja niiden variaatioita on vuosien mittaan vertailtu paljon etenkin tehokkuuden, tarkkuuden ja toistettavuuden/uusittavuuden suhteen (Vanha-Majamaa ym. 2000). Menetelmän tehokkuudella tarkoitetaan sen vaatimaa ajankäyttöä ja kustannuksia, kun taas tarkkuudella tarkoitetaan saadun tuloksen ja tosiarvon yhteensopivuutta. Menetelmän toistettavuudella/uusittavuudella tarkoitetaan peräkkäisten tulosten yhtäpitävyyttä, tässä tapauksessa esimerkiksi tutkijoiden välistä tai tutkijan sisäistä vaihtelua. Jälkimmäisellä tarkoitetaan sitä, että sama tutkija voi saada eri tulokset eri kertoina samasta tutkimusruudusta (Sykes ym. 1983). Edellä mainituista luotettavuutta kuvaavista parametreista tarkkuuden vertailu eri menetelmien välillä on haastavinta, sillä monissa tapauksissa tosiarvoa ei tiedetä. Kun ei esimerkiksi tiedetä tietyn kasvilajin oikeaa peittävyttä tutkimusruudusta, voidaan ainoastaan vertailla, millaisia eri menetelmillä saadut tulokset ovat suhteessa toisiinsa tai esimerkiksi verrattuna biomassaan tai valokuvista arvioituun peittävytyteen (Milberg ym. 2008). Sen sijaan tutkittaessa pelkästään lajien esiintymistä alueella, voidaan olettaa, että menetelmä, jolla saadaan suurin lajirikkaus, on lähimpänä tosiarvoa.

Tulosten luotettavuuden kannalta tarkkuus ja toistettavuus ovat toki ensiarvoisen tärkeitä, mutta koska ajanpuute on yksi keskeisimmistä käytännön ongelmista maastotutkimuksissa, on myös tehokkuuden vertailulle selkeät perusteensa. Mikäli otoskoko on riittämätön tai otos epätasaisesti jakautunut, voi se johtaa epäluotettaviin tilastollisiin päätelmiin (Booth ym. 2005). Tässä tapauksessa se tarkoittaa tilannetta, jossa todellisuudessa ekologisesti tärkeä muutos kasvillisuudessa on ajan myötä tapahtunut, mutta tilastollinen testi ei sitä havaitse – tai päinvastoin (Cagney ym. 2011). Ensimmäisenä kuvattua tilannetta kutsutaan tyypin II virheeksi eli nollahypoteesin virheelliseksi hyväksymiseksi, ja jälkimmäistä tyypin I virheeksi eli nollahypoteesin virheelliseksi hylkäämiseksi.

2.3.1 Visuaaliset ruutumenetelmät

Yleisin menetelmä arvioida kasvilajiston monimuotoisuutta on visuaaliseen arvioon perustuva ruutumenetelmä (engl. *visual / ocular estimates in quadrats*), jossa tietyltä yleensä 0,25–1000 m² kokoiselta näytealalta arvioidaan silmämääräisesti kaikkien ruudulla esiintyvien kasvilajien peittävyudet (Elzinga ym. 2001, s. 218–221). Useimmiten käytetään neliömetrin kokoista ruutua, joka on rajattu esimerkiksi puisella kehikolla, koska kasvuston havainnointi on paras tehdä kohtisuoraan ylhäältäpäin. Mitä suurempi on alue, sen vaikeampi se on kerralla hahmottaa. Kehikossa voi olla myös esimerkiksi 10×10 ruudukko helpottamaan peittävyysien hahmottamista. Tutkimusruutu voi olla joko pysyvä tai väliaikainen. Visuaalisten ruutumenetelmien on todettu soveltuvan paremmin pensas- kuin ruohovaltaisille kasvustoille (Floyd ja Anderson 1987, Godinez-Alvarez ym. 2009). Menetelmän suurin heikkous on sen subjektiivisuus, mutta sitä suositetaan sen nopeuden ja helppouden vuoksi. Monet tutkijat valitsevat sen, koska tuntevat menetelmän entuudestaan hyvin (Elzinga ym. 2001, s. 220).

Kunkin kasvilajin peittävyys tutkimusruudusta arvioidaan joko prosentin tarkkuudella tai luokka-asteikolla, jossa tietty luokka vastaa prosenttilukua tietyllä vaihteluvälillä. Ensimmäinen vaihtoehto vie enemmän aikaa, ja sen on todettu jo 1950-luvulla (Daubenmire 1959) olevan herkempi subjektiivisuudesta aiheutuville virheille. On helpompaa arvioida kuuluuko peittävyys tiettyyn luokkaan kuin tehdä tarkka prosenttiarvio (Jukola-Sulonen ja Salemaa 1985). Tämän vuoksi vielä nykypäivänäkin useimmiten käytetään luokka-asteikkoja, joista yleisimmät ovat Mueller-Domboisin ja Ellenbergin (1974) mukaan Daubenmiren, Domin-Krajinan ja Braun-Blanquetin asteikot. Taulukossa 1 on vertailtu edellä mainittuja luokka-asteikkoja tässä tutkimuksessa käytettyyn 9-luokkaiseen logaritmiseen asteikkoon. Pienille luokille on erilaisia merkintöjä kuten r, t ja +, mutta tällaisia merkintöjä olisi hyvä välttää, koska ne vaikeuttavat tilastollisia analyysejä (Pakarinen 1984).

Oletus, että havainnot jakautuvat tasaisesti jokaisen luokan keskiarvon ympärille, aiheuttaa ongelmia etenkin Daubenmiren luokka-asteikon käytössä. Keskiarvojen käyttö todennäköisesti yliarvioi harvinaisten ja pienten lajien peittävyksiä, sillä todellisuudessa varsinkin pienimmässä luokassa tiheys on suurempaa luokan ala- kuin yläpäässä, eikä

Taulukko 1. Yleisimmin käytettyjen Braun-Blanquetin, Domin-Krajinan ja Daubenmiren kasvilajien peittävyyttä arvioivien luokka-asteikkojen vertailu tässä tutkimuksessa käytettyyn logaritmiseen asteikkoon. Taulukon sisältö on muokattu Mueller-Domboisin ja Ellenbergin (1974, s.58–63) mukaan.

Braun-Blanquet		Domin-Krajina		Daubenmire		Logaritminen asteikko	
Luokka	Vaihteluväli (%)	Luokka	Vaihteluväli (%)	Luokka	Vaihteluväli (%)	Luokka	Vaihteluväli (%)
5	75–100	10	100	6	95–100	9	> 64
4	50–75	9	75–99	5	75–95	8	32–64
3	25–50	8	50–75	4	50–75	7	16–32
2	5–25	7	33–50	3	25–50	6	8–16
1	1–5	6	25–33	2	5–25	5	4–8
+	< 1	5	10–25	1	0–5	4	2–4
r	<< 1	4	5–10			3	0,5–2
		3	1–5			2	0,125–0,5
		2	< 1			1	< 0,125
		1	<< 1				
		+	<<< 1				

jakaudu tasaisesti keskiarvon (pienin luokka: 2,5 %) ympärille (katso kuva 3: Floyd ja Anderson 1987). Esimerkiksi Stohlgren ym. (1998) tutkivat preerioiden kasvillisuutta ja havaitsivat, että lähes puolella kasvilajeista oli alle prosentin peittävyys. Siksi on hyvin tärkeää, että pienille peittävyyksille on useita luokkia, eikä niitä niputeta yhteen (Elzinga ym. 2001, s. 219).

Useimmissa kasviekologian perusteoksissa (esimerkiksi Chapman 1976, Barbour ym. 1999) on mainittu, että visuaaliset kasvuston peittävyyttä arvioivat menetelmät ovat subjektiivisia ja siten heikosti toistettavissa. Siitä huolimatta Gotfrydin ja Hansellin (1985) mukaan monissa tutkimuksissa eri tutkijoiden silmämääräisesti tekemät arviot yhdistetään ilman minkäänlaisia korjauskertoimia tai edes mainitsematta subjektiivisuudesta aiheutuvaa virhelähdettä, ja tilanne on sama vielä nykypäivänäkin.

Kennedy ja Addison (1987) totesivat tutkimuksessaan, että kasvillisuusmuutoksen pitäisi olla jopa yli 20 %, jotta sen voitaisiin katsoa johtuvan muusta kuin luontaisesta vuosien välisestä ja/tai sisäisestä vaihtelusta tai arvioijan subjektiivisuudesta. Myös Kercher

ym. (2003) tutkivat visuaalisten menetelmien toistettavuutta ja havaitsivat eri tutkijoiden saavan hyvin todennäköisesti eri tulokset samoilta tutkimusruuduilta. Kun vertailtiin neljän eri kasvitieteilijän pareittain saamia tuloksia kasvilajien esiintymisestä tutkimusruudulla, 25 % ruuduista erosi toisistaan tilastollisesti merkitsevästi. Luku kasvoi 64 %:iin, kun vertailussa oli mukana lisäksi kasvilajien peittävyys. Klimešin (2003) tutkimuksessa viisi kasvitieteilijää kartoitti seitsemän tutkimusruudun kasvillisuutta. Tulokset kasvilajien peittävyyksistä muunnettiin Braun-Blanquetin asteikolle. Neljän neliömetrin kokoisilla tutkimusruuduilla 50 % tuloksista osui samaan luokkaan, 46 % peittävyysarvioista erosi yhden luokan, ja 4 % enemmän kuin yhden luokan. Pienemmillä tutkimusruuduilla eroavaisuudet olivat vielä tätäkin suurempia.

Visuaalisissa menetelmissä tapahtuu paitsi tutkijoiden välistä vaihtelua, myös tutkijan sisäistä vaihtelua, eli sama tutkija voi saada eri tulokset eri kertoina samasta tutkimusruudusta (Sykes ym. 1983). Sykesin ym. (1983) tutkimukseen osallistui kymmenen kasvitieteilijää, jotka arvioivat kahdeksan kasvillisuusruudun peittävyysasteet kahteen kertaan kolmena eri ajankohtana. Jokaisen kerran välillä oli vähintään kahden päivän tauko, jolla pyrittiin vähentämään tutkijan mahdollisuutta muistaa ulkoa viime kerran tulokset. Toisaalta tutkimuskertojen välillä ei saanut myöskään olla liian pitkää väliä, jottei kasvien fenologia ehtisi vaikuttaa tuloksiin. Sykes ym. totesivat tutkijan sisäisen vaihtelun ($\pm 5\text{--}15\%$) olevan pienempää kuin tutkijoiden välinen vaihtelu ($\pm 10\text{--}20\%$), minkä vuoksi he suosittelevat pitkän aikavälin seurannoissa mieluiten saman tutkijan käyttöä. Toisaalta vielä parempi vaihtoehto olisi, jos käytettäisiin useamman tutkijan tulosten keskiarvoja tai yhdessä saamia tuloksia samalta tutkimusruudulta (Vanha-Majamaa ym. 2000, Symstad ym. 2008). Sykes ym. (1983) havaitsivat myös joidenkin tutkijoiden jatkuvasti yli- tai aliarvioivan peittävyysasteita. On tärkeää pitää huoli, että tutkijat on mahdollisimman hyvin koulutettu, seulottu ja kalibroitu. Jokaisella tutkijalla on omat puutteensa ja vahvuutensa kasvilajituntemuksessa, ja siten kaksi tutkijaa voivat hyvinkin täydentää toisiaan (Vittoz ja Guisan 2007). Kahden tutkijan käyttö voi myös nopeuttaa esimerkiksi pysyvien seurantaruuutujen paikallistamista ja vaikeissa maasto-olosuhteissa kuten vuoristoisilla alueilla parantaa tutkijoiden työturvallisuutta (Vittoz ja Guisan 2007). On kuitenkin muistettava, että lisättäessä tutkijoiden määrää kasvavat myös kustannukset (Milberg ym. 2008).

Suurimmat arviointivirheet visuaalisissa ruutumenetelmissä tapahtuvat peittävyys-ollessa lähellä 50 %:a, ja pienimmät peittävyys-ollessa lähellä 0 tai 100 %:a (Sykes ym. 1983, Bennett ym. 2000). Visuaalista arviointia helpottamaan on kehitetty erilaisia apukeinoja: Tilman ym. (1997) esimerkiksi leikkasivat pahvista erikokoisia ja -muotoisia paloja silmänvaraisen arvioinnin tueksi, ja Dethier ym. (1993) jakoivat tutkimusruudun pienempiin osaruutuihin. Luscierin ym. (2006) mukaan koulutus ja tähän mennessä kehitetyt apukeinot eivät kuitenkaan riitä poistamaan visuaalisten menetelmien subjektiivisuutta.

Sopiva tutkimusruudun koko on riippuvainen paitsi tutkittavien kasvilajien morfologiasta, myös kasvuston homogeenisyydestä (Chapman 1976, s. 106). Tutkimusruudun koolla on huomattava vaikutus arvioijan tuloksiin; tutkimusruudun ollessa hyvin pieni tai hyvin suuri on arvioijien välinen vaihtelu suurinta. Klimesin ym. (2003) tutkimuksessa 0,001–0,016 m² kokoisilla ruuduilla vaihtelu oli 35–45 %, kun suuremmilla 0,06–4 m² kokoisilla vain 7–15 %. Sykesin ym. (1983) tutkimuksessa 4 m² tutkimusruuduilla vaihtelu oli keskimäärin 17 %, ja suurilla 200 m² tutkimusruuduilla jopa 88 %. Hyvin suurilla tutkimusruuduilla peittävyys-arviointi visuaalisesti on eittämättä hankalaa, kun koko aluetta ei ole mahdollista hahmottaa kerralla. Toisaalta hyvin pienillä tutkimusruuduilla on paljon reunaa suhteessa keskustaan, ja siten tutkijan täytyy päättää, kuuluuko tietty tutkimusruudun reunalla kasvava laji ruudun sisään vai sen ulkopuolelle. Tämä lisää tutkijan tekemiä subjektiivisia päätöksiä ja heikentää siten tutkimuksen tarkkuutta ja toistettavuutta. Myös tutkimusruudun muodolla on merkitystä. Tutkimusruudut ovat yleensä neliönmallisia, mutta alue voi olla muunkin muotoinen, esimerkiksi ympyrä tai suorakaide, jos elinympäristö sitä vaatii tai se helpottaa maastotyötä (Chapman 1976, s. 107).

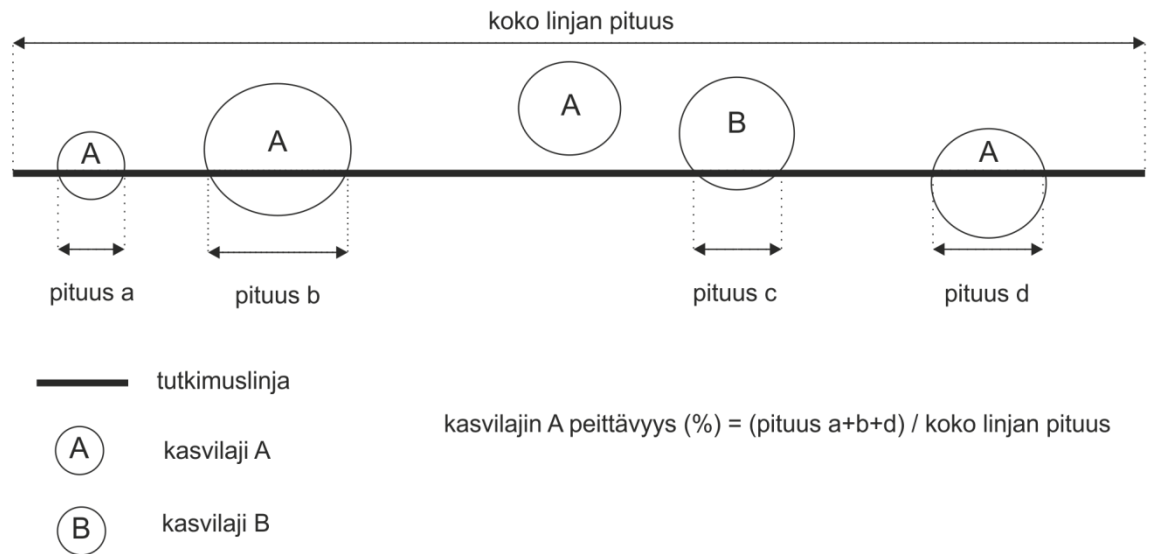
Eniten virheitä kasvipeitteisyyden arvioinnissa on havaittu tapahtuvan niillä kasvilajeilla, joiden peittävyys tutkimusruudusta on pienin (Kennedy ja Addison 1987, Kercher ym. 2003, Klimes 2003) sekä niillä, jotka ovat levittäytyneet tutkimusruudulle epätasaisesti (Clymo 1980, Kennedy ja Addison 1987). Ohutlehtisten kasvilajien peittävyys-arvioinnin on havaittu olevan leveälehtisiä hankalampaa (Clymo 1980, Sykes ym. 1983), ja ylipäättään eniten virheitä tehdään lajirikkailla tutkimusruuduilla (Kercher ym. 2003). Erityisen haastavia ovat nuoret kasviyksilöt jopa tutuilta kasvilajeilta (Lepš ja

Hadincová 1992). Tutkijat usein yliarvioivat sellaisten kasvilajien peittävyys, jotka ovat kukassa tai muutoin herättävät tutkijan huomion (Kent ja Coker 1992, s. 46). Kennedy ja Addison (1987) ovat listanneet kasvilajien morfologisia piirteitä, jotka hankaloittavat visuaalista tutkimusta. Näitä ovat muun muassa yhdistyneet lehdet, kuten metsäimarteella (*Gymnocarpium dryopteris*), runsaslehtiset suikertavat varret, kuten vanamolla (*Linnaea borealis*) ja vaihteleva lehtikoko, kuten kanadanoravanmarjalla (*Maianthemum canadense*). Kasvilajien peittävyys on helpompi määrittää oikein, mikäli ne levittäytyvät tasaisesti, kuten maitohorsma (*Epilobium angustifolium*) tai ovat helposti nähtävissä, mutta joilla on suppea levinneisyys, kuten nuokkotalvikilla (*Orthilia secunda*).

2.3.2 Linjamenetelmät

Linjamenetelmä (engl. *line intercept method*) soveltuu parhaiten laajoille elinympäristöille, joilla kasvusto on harvaa. Linjamenetelmä sopii hyvin yhtenäisen lehvästön muodostaville kasvilajeille, esimerkiksi pensaille ja maanpeitekasveille, mutta ei esimerkiksi pienille, ohutlehtisille kasvilajeille (Elzinga ym. 2001, s. 221). Tutkittavaan kasvustoon vedetään narulla suora linja mahdollisimman lähelle maanpintaa (Walker 1970). Linjalta kirjataan ylös kaikki siihen koskevat kasvilajit, ja mitataan niiden linjaan koskevien osien pituus. Kuvassa 1 on havainnollistettu, kuinka tietyille kasvilajeille voidaan laskea peittävyysprosentti jakamalla lajin pituus linjasta koko linjan pituudella. Elzingan ym. (2001, s. 221–222) mukaan linjamenetelmä on huomattavasti objektiivisempi kuin ruutumenetelmä, koska tulos perustuu mittaukseen eikä silmämääräiseen arvioon. Lehvästössä esiintyvät aukot esimerkiksi heinien lehtien välillä saattavat silti lisätä tutkijasta aiheutuvaa vaihtelua, jollei ennalta ole tarkkaan sovittu, kuinka tilanteessa toimitaan. Lisäksi tuulisen ilman on havaittu vaikeuttavan havainnointia ja heikentävän menetelmän tarkkuutta, koska tuuli heiluttaa niin kasveja kuin linjanaruakin.

Linjoja olisi kasvustossa hyvä olla vähintään kaksi, ja ne olisi hyvä sijoittaa niin, että ne risteävät toistensa kanssa (Küchler ym. 1988, s. 54). Menetelmän kannalta on tärkeää, että linja olisi mahdollisimman suora (Elzinga ym. 2001, s. 222). Linjojen määrä ja pituus on riippuvainen kasvuston homogeenisyydestä ja tiheydestä. Linjamenetelmän tarkkuutta voidaan parantaa tehokkaammin tutkimalla useampi linja tutkimusalueelta



Kuva 1. Linjamenetelmässä tietyn kasvilajin peittävyys saadaan selvitettyä mittaamalla kaikkien tutkimuslinjaan koskevien kasvien pituus koko linjasta. Kuva on muokattu Elzingan ym. (2001, s. 221) mukaan.

kuin tutkimalla pidempiä tutkimuslinjoja (Floyd ja Anderson 1987). Lisäksi lyhyempää linjanarua on helpompi ja nopeampi käsitellä maastossa (Walker 1970).

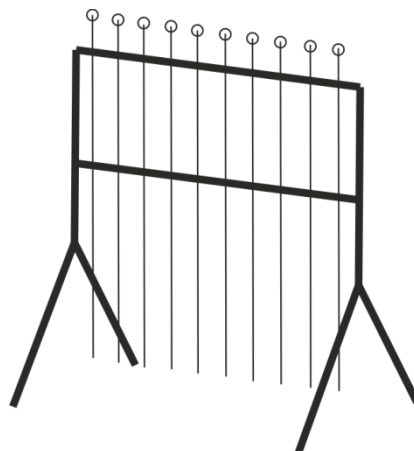
2.3.3 Pistemenetelmät

Pistemenetelmäteknikoista (engl. *pin-point method* / *point intercept method*) yleisin on niin kutsuttu naulakehysmenetelmä, joka otettiin käyttöön jo 1930-luvulla (Levy ja Madden 1933, ref. Goodall 1952). Suomessa menetelmää on käytetty muun muassa soiden ennallistamishankkeessa, ja menetelmä on sen vuoksi kuvattu tarkasti Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisussa (Heikkilä ym. 2002, s. 82–86). Menetelmää varten tarvitaan erityinen teline, jossa on jalat ja niiden välissä yleensä kaksi päällekkäin olevaa rimaa, joihin on porattu tasaisin välimatkoin reikiä (kuva 2). Reikien läpi työnnetään pitkiä metallisia nauloja kasvillisuuteen, ja kirjataan ylös, mihin kasvilajeihin koh-tisuora naula osuu. Menetelmällä voidaan mitata joko päällyskerroksen peittävyyttä merkitsemällä ainoastaan naulan ensimmäinen osuma kasvustoon, tai koko kasvuston peittävyyttä ottamalla huomioon kaikki kasvuston kerrokset. Puinen teline on yleensä

tutkimusruudun levyinen, ja sitä siirretään eteenpäin tasaisin välimatkoin, jolloin koko ruudun kasvillisuus saadaan kartoitettua.

Naulojen on oltava hyvin ja tiukasti kiinni telineessä, että ne todella laskeutuvat kasvuun kohtisuoraan. Tutkijan täytyy kirjata ylös ainoastaan lajit, joihin naula todella osuu – ei lajeja, joiden lähelle naula osuu (Dethier ym. 1993). Koska tämä on ainut tutkijasta riippuva päätös, on menetelmä ruutu- ja linjamenetelmiä objektiivisempi (Bonham 1989, s. 20). Tuuliset olosuhteet ja korkea kasvillisuus kuitenkin hankaloittavat menetelmää. Pistemenetelmät sopivat parhaiten matalalle, mielellään yksikerroksiselle kasvillisuudelle (Heikkilä ym. 2002, s. 82–86).

Naulan pään pitäisi olla mahdollisimman pieni, sillä sen koon on huomattu korreloivan positiivisesti todellisuutta suurempien peittävyysarvojen kanssa etenkin pieni- tai ohutlehtisillä kasvilajeilla (Wilson 1963). Goodall (1952) vertaili erikokoisten naulojen vaikutusta: esimerkiksi rantakauralle (*Ammophila arenaria*) 4,75 mm läpimittainen naula antoi peittävyudeksi 71 %, 1,84 mm naula 66,5 % ja mahdollisimman pieni naula 39 %. Naulojen määrällä on myös suuri vaikutus saadun tuloksen tarkkuuteen. Suositeltava määrä nauloja on Bennettin ym. (2000) mukaan nauloja neliömetrille on vähintään 200. Dethier ym. (1993) huomasivat, että kasvilajille, jonka peittävyys 0,25 neliömetrin ruudulla on 40 %, 92 naulaa riittää erottamaan 40 %:n peittävyyden 50 %:sta. Mikäli halutaan erottaa 40 % 45 %:sta, tarvitaan jo 369 naulaa. Kasvilajille, jonka peittävyys on



Kuva 2. Naulakehyksen avulla mitataan kasvilajien peittävyys tutkimusruudulla.

3 %, tarvitaan jopa 1118 naulaa erottamaan 3 % 4 %:sta. Naulojen lisääminen kuitenkin hidastaa tutkimusta, joten tutkijan täytyy tarkkaan harkita, kannattaako niiden lisääminen tutkimusruutujen määrän kustannuksella.

Naulakehysmenetelmä on pistemenetelmätekniikoista tunnetuin, mutta naulojen kiinnittäminen telineeseen ei välttämättä ole paras vaihtoehto. Yksittäisten naulojen käyttäminen antanee telineeseen kiinnitettyjä nauvoja tarkemman tuloksen, jos on pidetty huoli, että ne on levitetty alueelle edustavasti (Goodall 1952). Naulojen sijaan Wilsonin (2011) mukaan voidaan käyttää esimerkiksi luotilankaa, laseria tai kuituoptiikkaa. Samaa ideaa voidaan soveltaa pyörittämällä kasvustossa esimerkiksi polkupyörän vannetta ilman kumia, ja laskemalla pyörän pintojen osumat eri kasvilajeihin. Eräs vaihtoehto on myös rakentaa kehikko, johon pingotetaan lankoja ruudukoksi kahteen kerrokseen, ja tutkija havainnoi kasvilajit lankojen leikkauspisteiden kohdalta. Pistemenetelmää voi käyttää tutkimusruutujen sijaan myös tutkimuslinjalla, jolloin kasvilajit kartoitetaan tietyin välimatkoin ja menetelmää kutsutaan pistelinjamenetelmäksi.

2.3.4 Perinteisten menetelmien vertailu

Eri menetelmiä vertailevia tutkimuksia on tehty monissa eri elinympäristöissä: esimerkiksi aroilla ja ruohomailla (Floyd ja Anderson 1987, Stohlgren ym. 1998, Klimeš 2003, Godinez-Alvarez ym. 2009), metsämailla (Sykes ym. 1983, Vanha-Majamaa ym. 2000), pensasmailla (Godinez-Alvarez ym. 2009) ja kosteikoilla (Heikkilä ym. 2002, Kercher ym. 2003). Eri menetelmät sopivat eri kasvillisuustyypeille, ja siten esimerkiksi kerroksellista, monimuotoista kasvillisuutta hyvin mittaava menetelmä ei sovi välttämättä esimerkiksi matalalle ja harvalle kasvustolle – ja päinvastoin (Friedmann ym. 2011). Menetelmistä on hyvin monia eri variaatioita, joten aina tutkimustulokset eivät myöskään ole vertailukelpoisia keskenään.

Visuaalisella ruutumenetelmällä havaitaan yleisesti ottaen enemmän kasvilajeja kuin linja- tai pistemenetelmillä (Kercher ym. 2003, Symstad ym. 2008, Godinez-Alvarez ym. 2009). Symstad ym. (2008) myös havaitsivat, että lajirikkauden havainnoinnin toistettavuus oli parempi visuaalisella ruutumenetelmällä kuin pistemenetelmällä. Monet kasviyhteisöt koostuvat muutamasta valtalajista ja useammasta harvinaisesta kasvilajis-

ta. Kasvilajiston monimuotoisuutta helposti aliarvioidaan, jos peittävydeltään pienet tai hajanaisesti esiintyvät kasvilajit jäävät kokonaan havainnoimatta (Stohlgren ym. 1998). Toisaalta jos pistemenetelmällä sattuu havaitsemaan harvinaisen lajin, menetelmä usein yliarvioi sen peittävyys (Dethier ym. 1993). Tämän vuoksi ruutumenetelmän käyttö on suositeltavaa, jos ollaan kiinnostuneita alueen harvinaisista tai uhanalaisista kasvilajeista. Tutkija voi myös käyttää pistemenetelmää, mutta listata lisäksi ruudulta kaikki kasvilajit, joihin naula ei osunut (Dethier ym. 1993). Eräs keinoista parantaa pitkän aikavälin seurantoja on antaa tutkijoille lajilista viime kerralla tutkimusalueelta löydettyistä kasvilajeista, jolloin lajit eivät niin suurella todennäköisyydellä jää kokonaan huomaamatta.

Monissa tutkimuksissa linja- ja pistemenetelmillä on saatu suurempi kasvilajien peittävyys kuin visuaalisilla ruutumenetelmillä (Floyd ja Anderson 1987, Kercher ym. 2003, Symstad ym. 2008, Godinez-Alvarez ym. 2009). Suurempi peittävyys ei kuitenkaan automaattisesti tarkoita, että tulos olisi lähempänä totuutta (Korb ym. 2003, Symstad ym. 2008). Menetelmien tarkkuutta on tutkittu vertailemalla tuloksia esimerkiksi biomassaan, valokuvista arvioituun peittävyyteen tai monen tutkijan visuaalisen arvion keskiarvoon (Milberg ym. 2008). Monikerroksisten ja hajanaisten kasvustojen oikeaa peittävyyttä on kuitenkin lähes mahdoton tietää. Pitkän aikavälin seurannoissa absoluuttisesti oikeaa tulosta tärkeämpää onkin menetelmän toistettavuus ja uusittavuus (Gotfryd ja Hansell 1985, Milberg ym. 2008). Mikäli menetelmää ei pystytä luotettavasti toistamaan, voivat todelliset muutokset jäädä huomaamatta. Kuten jo aiemmin todettiin, visuaaliset eli silmämääräiset ruutumenetelmät ovat hyvin herkkiä subjektiivisuudesta aiheutuville virheille, ja siten heikosti toistettavissa. Piste- ja linjamenetelmillä saadut peittävyysarviot ovat ruutumenetelmiä paremmin toistettavissa (Elzinga ym. 2001, s. 218–226).

Menetelmien tehokkuutta on tutkittu paljon, mutta tulokset vaihtelevat, koska esimerkiksi pisteiden, linjojen ja ruutujen määrät ja koot sekä tutkittavan kasvuston monimuotoisuus ja rakenne vaikuttavat olennaisesti tuloksiin. Piste- ja linjamenetelmät on helppompaa omaksua ja oppia, kun taas visuaaliset ruutumenetelmät vaativat tekijältään enemmän kokemusta ja harjoittelua. Toisaalta ruutumenetelmät ovat jo entuudestaan monille tutkijoille tuttuja. Visuaalinen ruutumenetelmä on perinteisistä menetelmistä

kaikkein nopein, mutta sen heikkoutena pidetään menetelmän henkistä uuvuttavuutta, ja siten laadun heikkenemistä pitkän työrupeaman aikana (Bråkenhielm ja Qinghong 1995). Linjamenetelmä voi viedä jopa kolme kertaa enemmän aikaa kuin pistemenetelmä (Floyd ja Anderson 1987), minkä takia linjamenetelmää ei juuri käytetä. Toisaalta pistemenetelmää varten tarvitaan yleensä erityinen teline, minkä takia linja- ja ruutumenetelmien käyttöönotto on yksinkertaisempaa ja edullisempaa. Teknologian kehitys tehostaa perinteisten menetelmien ajankäyttöä, kun tulevaisuudessa aineisto tallennettaneen suoraan maastossa digitaalisilla laitteilla eikä aikaa kulu lomakkeille kirjoitetun tiedon uudelleen tallentamiseen (Cagney ym. 2011).

Kasvilajien virheellinen tunnistaminen aiheuttaa ongelmia kaikissa perinteisissä kasvuston peittävyys arviointimenetelmissä (Kennedy ja Addison 1987, Carlsson ym. 2005). Tämä kuitenkin riippuu pitkälti tutkijoiden kasvintunnistustaidoista, eli on ratkaistavissa riittävällä koulutuksella, jossa paneudutaan hankaliksi tiedettyihin kasvilajiryhmiin kuten puna-apilan (*Trifolium pratense*) ja metsäapilan (*Trifolium medium*) erottamiseen toisistaan (Carlsson ym. 2005).

Perinteisistä menetelmistä visuaalinen ruutumenetelmä on kaiken kaikkiaan todettu nopeammaksi ja edullisemmaksi kuin muut menetelmät, ja sopivan parhaiten monimuotoisen kasvuston lajirikkauden ja peittävyys inventointiin. Tämän vuoksi visuaalinen menetelmä on yleisin käytössä oleva kasvuston peittävyttä arvioiva menetelmä, ja se koettiin tässä tutkimuksessa parhaaksi vaihtoehdoksi, johon verrata uutta valokuvausmenetelmää.

2.4 Valokuvaan ja kuva-analyysiin perustuvat kasvuston peittävyys arviointimenetelmät

2.4.1 Valokuvausmenetelmät käytännössä

Kameran ja valokuvien käyttöä kasvuston peittävyys arvioinnissa kokeiltiin ensimmäisen kerran jo 1920-luvulla (Cooper 1924). Aihetta on tutkittu vuosien mittaan monien otteeseen (esimerkiksi Claveran 1966, Owens ym. 1985, taulukko 1: Booth ym.

2004), mutta vasta viimeaikainen teknologian kehitys, joka on tuonut mukanaan korkealaatuiset digitaaliset valokuvat, tehokkaat tietokoneet sekä monipuoliset kuva-analyysiohjelmat, mahdollistaa uuden valokuvausmenetelmän laajemman tutkimisen ja käyttöönoton. Vielä menetelmä ei kuitenkaan ole saavuttanut merkittävää jalansijaa monimuotoisuustutkimuksissa, vaan on vasta kehitysasteella.

Ennen digitaalisia kameroita filminkehitys vei aikaa, ja vasta kuvien valmistuttua tiedettiin, onnistuttiinko valokuvaan saamaan haluttu informaatio vai ei. Filmikuvien skannaus ja suurennus lisäksi heikensi resoluutiota. Nykyajan digitaalikameroilla kuvan onnistumista voidaan arvioida välittömästi, ja tietokoneen näytöltä valokuvia voidaan tarkastella reaaliokoossa tai jopa suurempina, ja kuvia on helppo analysoida erilaisilla tietokoneohjelmilla. Kuva-analyysiohjelmat on alun perin kehitetty satelliitti- ja ilmakuville, mutta ohjelmia on mahdollista käyttää myös kasvillisuudesta läheltä otettujen kuvien analysointiin (Luscier ym. 2006). Digitaalisia valokuvia ja kuva-analyysiohjelmia voidaan maatalousalalla käyttää myös esimerkiksi rikkakasvien torjuntatarpeen arviointiin (Neeser ym. 2000, Burgos-Artizzu ym. 2009), kasvien lehtialan mittaamiseen (Rico-García ym. 2009) ja kasvien fenologisiin tutkimuksiin (Crimmins ja Crimmins 2008), mutta tässä tutkimuksessa ja kirjallisuuskatsauksessa keskitytään ainoastaan kasvuston peittävyysarviointiin.

Tässä tutkimuksessa termillä valokuvausmenetelmä tarkoitetaan digitaalisten valokuvien hyödyntämistä kuva-analyysiohjelmien avulla. Valokuvausmenetelmässä kasvillisuudesta otetaan kameralla valokuva mahdollisimman kohtisuoraan alaspäin kohti tutkimusruutua joko vapaalla kädellä tai jalustalta yleensä noin 1–4 metrin korkeudelta. Valokuvan on oltava mahdollisimman tarkka ja varjoton. Valokuvat siirretään tietokoneelle ja rajataan, minkä jälkeen kuva-analyysiohjelmalla valokuvista lasketaan esimerkiksi paljaan maan, karikkeen ja koko kasvuston tai tiettyjen kasvilajien tai -ryhmien peittävyys. Tällä hetkellä valokuvausmenetelmä sopii parhaiten peittävyysarviointiin, koska kuva-analyysiohjelmilla ei ole mahdollista tarkasti arvioida monimuotoisten kasviyhteisöjen lajirikkautta tai kasvillisuuden rakennetta.

Kasvuston peittävyysarviointiin sopivia kuva-analyysiohjelmia on monia, mutta niiden ominaisuudet, helppokäyttöisyys ja hinta vaihtelevat. Kaikki kuva-analyysiohjelmat

vaativat enemmän tai vähemmän kokemusta tai harjoittelua. Tässä tutkimuksessa käytettiin kuva-analyysiohjelmaa nimeltä Definiens (Definiens AG, München, Saksa; osa ohjelman versioista tunnetaan myös nimellä eCognition). Ohjelmaa käytettiin ensimmäisen kerran kasvuston peittävyysarvioinnissa läheltä maanpintaa otetuille valokuville Yhdysvalloissa 2000-luvun puolivälissä: Luscierin ym. (2006) tutkimuksessa Arkansasin osavaltiossa, jolloin otoksena oli 90 kahden neliömetrin kokoista tutkimusruutua, ja Laliberten ym. (2007) tutkimuksessa Uuden Meksikon osavaltiossa, jolloin otoksena oli 50 noin 9 neliömetrin kokoista tutkimusruutua. Ensin mainituissa tutkimuksissa verrattiin kuva-analyysin tuloksia asiantuntijan tekemään arvioon Cohenin kapin (engl. *Kappa index of agreement* = *KIA*) avulla. Cohenin kappa mittaa tulosten yhtäpitävyyttä ottaen huomioon sattumalta syntyneen yhtäpitävyyden aiheuttaman harhan. Kappa-arvo oli keskimäärin 90–96 %, eli tulosten välillä oli vahva yhtäpitävyys. Luscier ym. kokeilivat kuva-analyysiä myös neljälle keinotekoiselle tutkimusruudulle, joilla kappa-arvot olivat 94–97 %. Tämän johdosta Luscier ym. totesivat uuden valokuvausmenetelmän tarjoavan toistettavan ja luotettavan tavan arvioida kasvuston peittävyttä. Jälkimmäisessä tutkimuksessa valokuvausmenetelmää verrattiin linjapistemenetelmään. Menetelmien välillä havaittiin selvä korrelaatio, ja myös Laliberte ym. totesivat uuden valokuvausmenetelmän sopivan hyvin kasvuston peittävyysarviointiin.

Muita tietokoneohjelmia, joita on käytetty kasvuston peittävyysarviointiin, ovat esimerkiksi ERDAS (Vanha-Majamaa ym. 2000), Adobe Photoshop (Bennett ym. 2000), VegMeasure (Booth ym. 2005, Louhaichi ym. 2010), IDRISI (Benavides ja Sastre-De Jesús 2009) ja SamplePoint (Cagney ym. 2011). Kaikissa edellä mainituissa ohjelmissa kuva-analyysi perustuu pikseleihin. Definiens-ohjelman etu verrattuna perinteisiin kuva-analyysiohjelmiin on sen perustuminen segmentointiin eli kuviointiin. Segmentoinnissa kuvan erillisistä pikseleistä tehdään yhtenäisiä osa-alueita eli segmenttejä. Kun kuvasta pikseleiden sijaan tulkitaankin kokonaisia alueita, voidaan spektraalisen eli valon aallonpituuksiin perustuvan tiedon lisäksi käyttää monia alueisiin liittyviä ominaisuuksia eli kontekstitietoa kuten alueiden rakennetta ja muotoa (Definiens 2006). Vanha-Majamaan ym. (2000) mukaan segmentointiin perustuvilla objektipohjaisilla kuva-analyysiohjelmissa voidaan siten erottaa toisistaan esimerkiksi erilaisia kasviryhmiä, jotka ovat värisävyiltään lähellä toisiaan, mutta joiden muoto eroaa toisistaan. Toisaalta ohjelmalla pystytään yhdistämään samaan luokkaan myös kasvilajit tai -ryhmät, joissa

esiintyy paljon värisävyvaihtelua. Kasvien ylemmät osat saattavat esimerkiksi erota alemmista osista iän tai erilaisten valo-olosuhteiden takia (Vanha-Majamaa ym. 2000, Benavides ja Sastre-De Jesús 2009). Tällaisten tapausten luokittelu pelkän spektraalisen tiedon perusteella samaan ryhmään olisi mahdotonta, mutta segmentointiin perustuvilla kuva-analyysiohjelmilla (engl. *object based image analysis*) luokittelu onnistuu.

2.4.2 Valokuvausmenetelmien vahvuudet

Uusien valokuvausmenetelmien suurin etu verrattuna perinteisiin menetelmiin arvioida kasvuston peittävyyttä on menetelmien parempi toistettavuus ja tarkkuus (Booth ym. 2005, Luscier ym. 2006). Koska menetelmät perustuvat kuva-analyysiohjelmiin, on tutkijasta aiheutuva tulosten vääristyminen vähäisempää. Kaikki tällä hetkellä käytettävissä olevat kuva-analyysiohjelmat ovat kuitenkin vielä käyttäjäriippuvaisia, eli eivät täysin objektiivisia eivätkä automaattisia.

Ajanpuute on yksi keskeisimmistä ongelmista maastotutkimuksissa. Valokuvausmenetelmää varten tarvitaan vähemmän työvoimaa kuin perinteisiä menetelmiä varten, koska aineiston kerääminen maastossa on nopeampaa (Cagney ym. 2011). Lisäksi se vaatii vain yhden henkilön, toisin kuin useimmat perinteiset menetelmät, jotka vaativat kaksi tutkijaa (Booth ym. 2005). Tämä on tärkeää maissa, joissa työvoimakustannukset ovat korkeat, tai alueilla, joilla on erityisen kallista järjestää tutkimuksia (Chen ym. 2010). Perinteisillä menetelmillä otoskoko on usein riittämätön tai otos epätasaisesti jakautunut. Valokuvausmenetelmällä voidaan yhden maastopäivän aikana kerätä suurempi aineisto laajemmalta alueelta, ja vähentää kustannusten lisäksi myös tutkimuksesta luonnolle aiheutuvia haittoja (Luscier ym. 2006). Kun aineiston kerääminen maastossa on nopeampaa ja tapahtuu siten lyhyemmällä aikavälillä, otoksen sisäinen vaihtelu vähenee. Suurempi otos myös johtaa luotettavampiin tilastollisiin päätelmiin (Booth ym. 2005), ja vähentää jo aiemmin kuvattua tyyppin II virhettä eli nollahypoteesin virheellistä hyväksymistä (Cagney ym. 2011). Valokuvausmenetelmää voi käyttää myös ilman otosta, eli kuvata koko tutkittavan alueen (Bold ym. 2010).

Lisäksi valokuvat säilyvät mahdollista tulevaisuuden käyttöä varten, esimerkiksi jos aineisto syystä tai toisesta kyseenalaistetaan tai jos halutaan kokeilla uusia kuva-

analyysiohjelmia (Booth ym. 2005, Cagney ym. 2011). Sama henkilö voi myös siten analysoida eri ajankohtina otetut valokuvat. Jos kaksi eri tutkijaa analysoi aineistoa, ja käsittää esimerkiksi termin karike eri tavoin, voi karikkeen peittävyudessa havaittu muutos todellisuudessa johtuakin luokitteluvirheestä, ei todellisesta muutoksesta (Cagney ym. 2011). Kun sama henkilö tekee kaikki kuva-analyysit, ovat havaitut muutokset todellisia, eivätkä johdu käyttäjien välisestä vaihtelusta (Booth ja Cox 2011).

2.4.3 Valokuvausmenetelmien haasteet

Valokuvausmenetelmiin liittyy myös monia haasteita, heikkouksia ja hankaluuksia. Valokuvien ottamiseen ja kuva-analyysin tulokseen vaikuttavat monet tekijät kuten kasvuston koostumus, kasvien kasvuvaiheet sekä olosuhteet maastossa, esimerkiksi tuulisuus ja valoisuus (Burgos-Artizzu ym. 2009). Valokuvien resoluution on oltava riittävä, jotta niistä saadaan haluttu informaatio (Booth ja Cox 2011). Vielä ei ole kehitetty täysin automaattista kuva-analyysiohjelmaa, joten käytännössä tuloksissa voi aina esiintyä myös käyttäjien välistä vaihtelua. Lisäksi käytännön haasteita saattavat aiheuttaa esimerkiksi kuva-analyysiohjelmien vaatimat tehokkaat koneet ja kalliit hankintakustannukset.

Valokuvausmenetelmässä kolmiulotteista maailmaa tulkitaan kaksiulotteisen tason avulla (Chen ym. 2010). Tällä hetkellä käytössä olevilla valokuvausmenetelmillä voidaan arvioida ainoastaan päällyskerroksen peittävyyttä, ja siten pienet ja matalat kasvilajit jäävät kokonaan havaitsematta. Tämän vuoksi valokuvausmenetelmä sopii parhaiten matalalle, yksikerroksiselle kasvustolle (Vanha-Majamaa ym. 2000). Valokuvat olisi paras ottaa kuva-analyysiä varten ajankohtana, jolloin esiintyy eniten väri vaihteluja, esimerkiksi kiinnostuksen kohteena olevien kasvilajien kukkiessa, tai kun kasvilajit tai -ryhmät on muutoin helpoin tunnistaa (Luscier ym. 2006, Cagney ym. 2011).

Tällä hetkellä kuva-analyysiohjelmia käytetään lähinnä erottamaan erilaiset kasviryhmät toisistaan tai pelkästään esimerkiksi paljaan maan osuus tutkimusruudusta. Laliberte ym. (2007) erottelivat *Definiens* -kuva-analyysiohjelmalla toisistaan kuolleen ja elävän kasvillisuuden ja Luscier ym. (2006) paljaan maan, karikkeen, heinä- ja ruohovartiset kasvit sekä pensaat. Osa kasveista reagoi herkästi ympäristössä tapahtuviin muutoksiin

ja niiden elinvaatimukset ovat keskimääräistä tiukemmat, minkä vuoksi niitä käytetään indikaattorilajeina eli monimuotoisuuden mittareina. Kuva-analyysiohjelmilla on mahdollista erottaa tietty indikaattorilaji muusta kasvustosta, jos sen väriskaala tai muoto eroaa tarpeeksi muusta kasvillisuudesta (Vanha-Majamaa ym. 2000). Chen ym. (2010) tekivät vastikään tutkimuksen, jossa he onnistuivat luokittelemaan Definiens-ohjelmalla kaikki eri kasvilajit omiksi ryhmikseen. He vertasivat tuloksia keinotekoisiiin kaksiulotteisiin ruutuihin, ja totesivat menetelmän hyvin tarkaksi ja objektiiviseksi, mutta manuaalisten työvaiheidensa vuoksi myös hyvin aikaavieväksi. Tutkimus tehtiin arktisella tundra-alueella, jolla suhteellisen lajiköyhä kasvusto harvoin peittää maanpinnasta yli 30 %, eikä siten ole vielä sinällään sovellettavissa monimuotoisemmille alueille.

Valokuvissa esiintyy erilaisia vääristymiä, joista valokuvausmenetelmässä olennaisimmat ovat perspektiiviset, projektiiviset ja linssin aiheuttamat vääristymät. Perspektiivinen vääristymä johtuu Zhoun ja Robsonin (2001) mukaan kuvattavan kohteen eli esimerkiksi maaston tai kasvillisuuden korkeuseroista. Vääristymä on kuvan keskipisteeseen päin, jos kohde on matala eli kuvitellun nollatason alapuolella, ja poispäin, jos kohde on korkea eli nollatason yläpuolella. Vääristymä on suurin valokuvan reunoilla ja olematon suoraan kameran alapuolella. Lähempänä kameraa olevat korkeat kasvit etenkin tutkimusruudun laidoilla esiintyvät siis valokuvassa todellisuutta suurempina ja aiheuttanevat virheitä peittävyysarvioinnissa.

Myös linssin muoto aiheuttaa vääristymiä. Tynnyrivääristymä on kameran objektiivin aiheuttama vääristymä, joka johtaa valokuvan reunalla olevien suorien viivojen kuperumiseen. Tyynyvääristymä on tämän vastakohta. Cagney ym. (2011) totesivat, ettei tynnyrivääristymä varsinkaan suhteellisen matalalla kasvillisuudella ole kuitenkaan kovin suuri ongelma. On silti suositeltavaa käyttää polttoväliltään pitkiä linsejä ja mahdollisimman korkeita jalustoja.

Bennett ym. (2000) tutkivat sekä linssi- että perspektiivisen vääristymän suuruutta tietokoneella luotujen kolmiulotteisten heinäkasvimallien avulla, ja totesivat virheen olevan peittävyysluokasta riippumatta tasaisesti samaan suuntaan aina noin 4 %. Virheen yhdenmukaisuudesta johtuen se voidaan helposti poistaa jälkikäteen. Zhou ja Robson (2001) saivat samansuuruisen tuloksen, sillä heidän mukaansa vääristymä on kasvien

pituudesta riippuen 3–7 %, kun kaikki kasvit sijaitsevat tutkimusruudun reunoilla. Todellisuudessa tilanne on harvoin tämä, joten heidän mukaansa vääristymä on yleensä vielä tätäkin pienempi. Myös perspektiivistä vääristymää voidaan vähentää käyttämällä korkeammassa kasvillisuudessa korkeampia jalustoja (Louhaichi ym. 2010).

Projektiivinen vääristymä johtuu kameran kallistumisesta. Valokuvausmenetelmässä eräs tärkeimmistä teknologisista haasteista onkin ottaa kuvat suoraan alaspäin. Tämä voidaan tehdä joko erilaisten jalustojen avulla tai vapaalla kädellä, ja tarkistaa kameran asento lopuksi vielä esimerkiksi vatupassilla. Perinteisin menetelmä on käyttää kolmijalkaista jalustaa, mutta käytössä on myös erilaisia teleskooppisia monopodeja eli yksijalkaisia jalustoja (Luscier ym. 2006) sekä erikseen tarkoitusta varten rakennettuja telineitä (Booth ja Cox 2011). Telineeseen voi esimerkiksi kiinnittää maantasolle kehikon, joka rajaa tutkittavan alueen, ja ylös kiinteän paikan kameralle, jolloin valokuvat on helppo ottaa joka kerta samalla tavalla kohtisuoraan alaspäin itselaukaisimella (katso esimerkiksi kuva 1: Booth ym. 2004). Telineitä on usein hankala liikutella maastossa ja kuljettaa tutkimusalueelta toiselle, minkä vuoksi joissakin tutkimuksissa kamerateline on kiinnitetty suoraan autoon (esimerkiksi Roshier ym. 1997). Telineiden rakentaminen maksaa, ja tutkimusalueella ne saattavat aiheuttaa haittaa luonnolle, varsinkin jos niiden liikuttamiseen tarvitaan autoa. Tämän vuoksi yleensä suositaan pienempiä ja kevyempiä jalustoja tai vapaan käden tekniikkaa. Cagney ym. (2011) kokeilivat valokuvien ottamista vapaalla kädellä ilman jalustaa. Tavallisimmat ongelmat olivat kameran pitäminen liian lähellä vartaloa, jolloin kuvaa ei otettu suoraan alaspäin, sekä väärin asetettu suljimen nopeus ja siitä aiheutunut kuvan epätarkkuus, jos kuvaajan käsi tärisee tai kuvanottohetkellä vallitsevat tuuliset olosuhteet. Nämä ongelmat voidaan kuitenkin poistaa koulutuksella ja selkeillä ohjeilla.

Varjojen on havaittu aiheuttavan ongelmia kuva-analyysissä, koska on mahdoton tietää pelkän valokuvan perusteella, mihin luokkaan varjoisat, lähes mustat alueet kuuluvat. Välttääkseen teräviä varjoja ja taatakseen tasaisen valaistuksen Bennett ym. (2000) käyttivät tiheää kangasta tutkimusruudun varjostamiseen ja salamavaloa kuvan ottamisessa. Varjostamalla aluetta voidaan poistaa tai ainakin vähentää varjoja, mutta se paitsi lisää menetelmän hintaa myös hidastaa ja vaikeuttaa muutoin nopeaa menetelmää. Lisäksi tuulisissa olosuhteissa alueen varjostaminen on hyvin hankalaa (Cox ja Booth

2009). Varjostamisen sijaan Cox ja Booth (2009) ehdottavatkin HDR (engl. *high dynamic range*) -kuvien käyttöä. He yhdistivät kolme eri valotusajoilla otettua kuvaa Photomatix Pro -ohjelmalla, jolloin esimerkiksi paljas maa erottui paremmin kasvillisuudesta, ja oli siten helpommin luokiteltavissa kuva-analyysiohjelmalla. HDR-kuvien luonti vie aikaa, ja kuvien terävyys myös heikkenee, jos kuvat on otettu hiukankin eri kohdista tai jos tuuli on liikuttanut kasvillisuutta kuvien oton välillä. Menetelmä kuitenkin vähentää varjostumisen aiheuttamia ongelmia, ja tulevaisuudessa teknologian kehityksessä HDR-kuvat saattavat olla tärkeässä roolissa kasvilajiston monimuotoisuuden arvioinnissa.

2.4.4 Muut mahdollisuudet käyttää valokuvia kasvillisuustutkimuksissa

Tässä tutkimuksessa keskitytään kuva-analyysiä hyödyntäviin valokuvausmenetelmiin, mutta valokuvia on toki mahdollista käyttää hyödyksi ilman kuva-analyysiohjelmiakin. Digitaalisia valokuvia on hyödynnetty manuaalisesti kasvuston peittävyuden arvioinnissa digitaalisessa ruudukkomenetelmässä (engl. *digital grid overlay / DGO*) (Booth ym. 2005, Booth ym. 2006, Chen ym. 2010). Menetelmä on sovellus perinteisestä pistemenetelmästä. Maastossa tehtävän aikaavievän työn (katso kappale 2.3.3) sijaan toimistossa asetetaan digitaalisten valokuvien päälle tietokoneohjelmalla ruudukko, josta määritetään visuaalisesti, mikä kasvilaji tai -ryhmä osuu kuhunkin ruudukon leikkauspisteseen (Booth ym. 2005). Digitaalinen ruudukkomenetelmä pystyy Chenin ym. (2010) mukaan vastaamaan pistemenetelmän suurimpiin teknisiin haasteisiin: pisteiden riittämättömään lukumäärään (Dethier ym. 1993) kasvattamalla ruudukon tiheyttä, sekä pisteiden liian suureen läpimittaan (Goodall 1952) parantamalla valokuvien resoluutiota ja tarkentamalla jokaisen leikkauspisteen kohdalla yksittäiseen pikseliin. Siitä huolimatta digitaalisen ruudukkomenetelmän on havaittu jakavan pistemenetelmän suurimmat heikkoudet, eli se yliarvioi kasvilajien peittävyksiä eikä ole hyvä havaitsemaan harvinaisia kasvilajeja (Chen ym. 2010).

Irina Herzonin mukaan (HY, suullinen tiedonanto, 20.11.2012) kokenut kasvitieteilijä voi tarkastella valokuvia myös pelkästään silmämääräisesti ja siten vertailla erilaisten kasviyhteisöjen päällyskerroksen lajirikkautta. Kuinka hyvin arvio kuvastaa koko kasviyhteisön lajirikkautta, riippuu pitkälti kasvuston rakenteesta. Valokuvausmenetelmä

sopii parhaiten matalalle, yksikerroksiselle kasvustolle, joka ei jätä varjoonsa pienempiä kasvilajeja.

Hollannissa kokeiltiin vastikään uutta menetelmää, jolla voitaisiin helposti ja nopeasti arvioida pellon pientareen kasvuston lajirikkautta (de Snoo ym., julkaisematon). Kasvustosta otetun valokuvan päälle asetettiin Microsoft Wordissa $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ruudukko, ja väriasteikon avulla kuvasta laskettiin silmämääräisesti siinä esiintyvät värit. Värien lukumäärän havaittiin korreloivan positiivisesti paitsi pientareen kasvilajimäärän, myös pientareen maakiitäjäislajimäärän kanssa.

Kaiken kaikkiaan valokuvausmenetelmällä on visuaalisiin kasvuston peittävyysarviointimenetelmiin verrattuna omat heikkoutensa ja vahvuutensa. Uusi valokuvausmenetelmä ei ole valmis vaihtoehto, vaan menetelmää täytyy edelleen täydentää ja kehittää tehokkaammaksi, tarkemmaksi ja paremmin toistettavaksi.

3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Tämän tutkimuksen tärkeimpänä tavoitteena on selvittää, voisiko kasvillisuustutkimuksia täydentää digitaalisen valokuvauksen ja segmentointiin perustuvan kuva-analyysin avulla. Kysymykseen pyritään vastaamaan vertaamalla luonnonhoitopelloilta ja muilta kesannoilta valokuvausmenetelmällä kerättyä aineistoa kasvuston peittävydestä perinteisin visuaalisin menetelmin kerättyyn aineistoon. Tutkimuksen päätavoite voidaan jakaa kolmeen osatavoitteeseen:

1. Miten valokuvausmenetelmällä kerätty aineisto paljaan maan ja karikkeen sekä yksi- ja kaksisirkkaisten kasvien peittävydestä eroaa visuaalisin menetelmin kerätystä aineistosta?
2. Onko valokuvausmenetelmällä saatujen peittävyysarvioiden avulla mahdollista saada tietoa tutkimusruudun kasvilajirikkaudesta tai kasvuston rakenteellisista ominaisuuksista?
3. Voiko valokuvausmenetelmällä säästää aikaa verrattuna visuaalisiin tutkimusmenetelmiin?

Aiemmissa tutkimuksissa (Luscier ym. 2006, Laliberte ym. 2007) segmentointiin perustuvan kuva-analyysin on todettu tarjoavan toistettavan, tehokkaan ja tarkan tavan arvioida kasvuston peittävyttä. Ensimmäisen osatavoitteen tutkimushypoteesina on, että visuaalisen ja valokuvausmenetelmän välillä on selkeä riippuvuus kaikkien neljän luokan osalta. Tulosten odotetaan silti eroavan toisistaan, sillä tässä tutkimuksessa käytetty subjektiivinen visuaalinen menetelmä arvioi tutkimusruudun kasvuston kokonaispeittävyttä, kun taas objektiivisemmalla valokuvausmenetelmällä saadaan tietoa ainoastaan kasvuston päällyskerroksesta. Kasvilajin havaittavuus päällyskerroksessa riippuu kasvuston koostumuksesta sekä kyseisen kasvilajin kasvutavasta. Tutkimusruutua tarkasteltaessa visuaalisin menetelmin tutkija seisoo yleensä ruudun vieressä ja tarkastelee kasvustoa hieman sivultapäin. Tästä syystä hän voi havaita paljasta maata ja kariketta, jotka suoraan ylhäältäpäin tarkasteltuna jäisivät kasvuston päällyskerroksen alle ja siten kokonaan havaitsematta. Paljaan maan ja karikkeen osalta voidaan siis olettaa, että niitä havaitaan valokuvausmenetelmällä arvioituna hieman vähemmän kuin visuaalisella menetelmällä.

Toisen osatavoitteen tutkimushypoteesina on, ettei valokuvausmenetelmän peittävyysarvioilla saada varmaa tietoa tutkimusruudun kasvilajirikkaudesta tai kasvuston rakenteellisista ominaisuuksista. On kuitenkin tärkeää selvittää, onko valokuvausmenetelmän ja edellä mainittujen ominaisuuksien välillä minkäänlaista yhteyttä. Mikäli valokuvausmenetelmällä ei ole mahdollista saada varmaa tietoa edellä mainituista ominaisuuksista, on sen käyttö visuaalisiin menetelmiin verrattuna paljon rajoitetumpaa. Yksisirkkaiset heinäkasvilajit saattavat olla hyvinkin kilpailukykyisiä ja valtaavat herkästi alaa monilajisemmilta kaksisirkkaisilta kasvilajeilta (Baer ym. 2005, Blake ym. 2011). Tämän vuoksi tarkastellaan erityisesti yksisirkkaisten heinäkasvien peittävyys ja lajirikkauden yhteyttä.

Kolmantena tutkimushypoteesina on, että uudella valokuvausmenetelmällä voidaan säästää aikaa verrattuna perinteiseen visuaaliseen menetelmään. Erityisesti valokuvausmenetelmän maastotutkimusosuuden odotetaan olevan visuaalista nopeampi. Lopuksi kirjallisuuskatsauksen ja saatujen tutkimustulosten pohjalta tehdään SWOT-analyysi, jonka avulla tiivistetään valokuvausmenetelmän vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet

ja uhat. Viimeiseksi pohditaan, miten valokuvausmenetelmää voitaisiin edelleen kehittää.

4 AINEISTO JA MENETELMÄT

4.1 Aineiston kerääminen

Tutkimuksen pilottiaineisto kerättiin Uudeltamaalta kesän 2010 aikana Helsingin yliopiston Maataloustieteiden laitoksen luonnonhoitopeltojen kasvillisuutta kartoittavan maastotutkimuksen yhteydessä. Pilottiaineiston kerääminen ennen varsinaista tutkimusta oli hyödyllistä, sillä maastotöiden avulla pystyttiin realistisesti arvioimaan, mitä teknologisia haasteita siihen liittyy, ja miten paljon aikaa se vie. Osa pilottiaineistosta lisäksi analysoitiin Definiens Professional -ohjelmalla (versio 5.0, Definiens AG, München, Saksa), jotta saatiin selville, mitä rajoituksia ja mahdollisuuksia kuva-analyysiohjelma tutkimukselle ja aineiston keräämiselle asettaa.

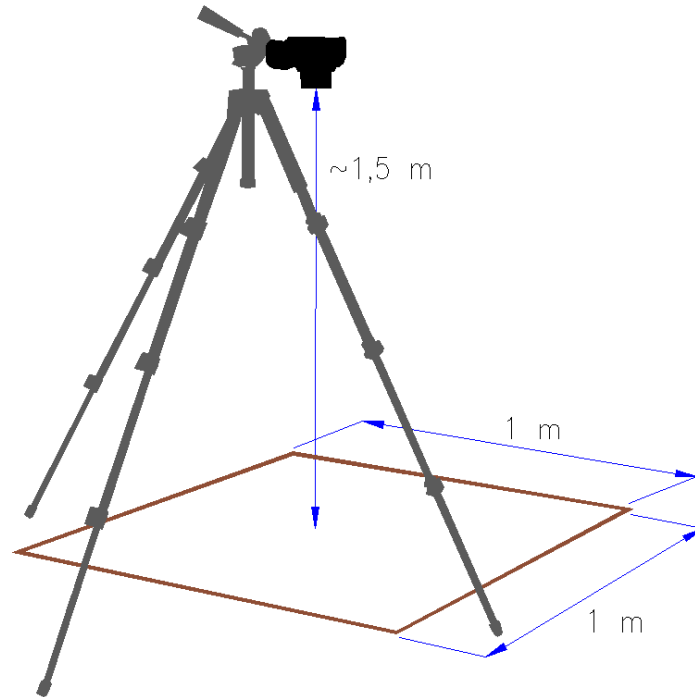
Varsinainen aineisto kerättiin seuraavan kesän 2011 aikana kahdessa osassa. Ensimmäinen osa kerättiin 6.7.–18.7.2011 luonnonhoitopelloilta niiden kasvillisuutta kartoittavan maastotutkimuksen yhteydessä Pirkanmaalta. Toinen osa kerättiin Helsingin Viikin koe-tilan kesannoilta pysyviltä seurantaruduilta, joita tarkkailtiin 13.6.–4.8.2011. Tässä tutkimuksessa Viikin aineistosta tarkastellaan osuutta, joka on kerätty Pirkanmaan tutkimuksen kanssa samoihin aikoihin 4.7.2011. Otoksen koko on 30 tutkimusruutua: 15 Pirkanmaalta ja 15 Viikistä. Tässä tutkimuksessa keskitytään ainoastaan visuaalisen menetelmän ja valokuvausmenetelmän eroihin. Viikin seuranta-aineistosta on tekeillä myös lisätutkimus, jossa pyritään selvittämään kasvien fenologian mahdollinen vaikutus kuva-analyysin tuloksiin.

Kuvat otettiin sekä Viikissä että Pirkanmaalla kameralla yhden neliömetrin kokoisesta tutkimusruudusta noin 1,5 metrin korkeudelta kolmijalkaisen jalustan varasta niin, että kasvillisuuden rakenne erottui mahdollisimman hyvin, ja sama etäisyys ja kameran kulma oli toistettavissa mahdollisimman tarkasti (kuva 3). Jos kolmijalka ei pysynyt tasapainossa, käytettiin kolmannessa jalassa ylimääräistä painoa. Kasvuston rakenne ja

peittävyys tutkimusruuduilla oli vaihtelevaa. Liitteessä 1 on esimerkkikuvia erilaisilta tutkimusruuduilta. Tutkimuksessa käytetty digitaalinen kamera oli 10 megapikselin Canon PowerShot G12. Kuvat otettiin kamerasetusten automaattisilla asetuksilla ilman zoomausta eli objektiivin polttoväliä muuttamatta. Erityisesti tuulinen sää aiheutti kuvissa epätarkkuutta, minkä vuoksi jokaisesta tutkimusruudusta otettiin useampi kuva, jotta varmistettiin, että saatiin tähtämätön ja tarkka kuva. Valo-olosuhteet vaihtelivat kuvauskertojen välillä, mutta kuvat pyrittiin ottamaan pilvipoutaisella säällä aamu- ja iltapäivän välillä. Viikin pysyviltä seurantaruuilta pilvisuysaste ja tuulisuus kirjattiin ylös jokaisen kuvauskerran yhteydessä käyttäen apuna Ilmatieteen laitoksen säähavaintoja Helsingistä. Pirkanmaalla havaintoruutuna käytettiin puusta rakennettua neliömetrin kokoista kehikkoa. Viikin seurantaruu-
tujen kulmat merkittiin maastoon sinisillä muovituikuilla, ja tarkat koordinaatit mitattiin GPS:llä. Tikut tai kehikko oli helppo hahmottaa valokuvista jälkikäteen, ja niiden avulla pystyttiin rajaamaan kuvasta pois seurantaruidun ulkopuolelle jäävät kohteet.

On todella tärkeää tietää varmasti, mistä tutkimusruudusta mikäkin valokuva on otettu. Tavan on oltava systemaattinen, jotta se on tarpeeksi selkeä myös valokuvien mahdollista myöhempää käyttöä varten. Tämän vuoksi tässä tutkimuksessa otettiin aina ennen varsinaisia tutkimusruutukuvia valokuva maastolomakkeesta, johon oli selkeästi merkitty, mistä ruudusta on kyse. Maastolomakkeeseen on hyvä varmuuden vuoksi merkitä myös ajankohta, vaikka se toki tallentuu digitaalisilla kameroilla myös valokuvan tietoihin. Kesällä 2011 kuvaajana toimi pääasiassa vain yksi henkilö, jolloin kuvaajasta aiheutuva vaihtelu saatiin minimoitua.

Visuaalisiin tutkimuksiin osallistui Viikissä ja Pirkanmaalla neljä henkilöä. Päävastuussa olleet kaksi henkilöä, joista toinen oli vastuussa myös valokuvauksesta, olivat tehneet kasvillisuuskartoitusta samoin visuaalisin menetelmin jo edellisessä Uudellamaalla luonnonhoitopeltojen kasvillisuutta kartoittavan tutkimuksen yhteydessä, ja sitä ennen harjoitelleet maastotutkimusta kokeneempien tutkijoiden kanssa. Mikäli oli epävarmuutta, mihin peittävyysluokkaan tietty kasvilaji kuului, asiasta keskusteltiin ja lopputulos päätettiin yhdessä. Mikäli kasvilajia ei tunnustettu maastossa kasvioppaiden avustuksella, asia selvitettiin myöhemmin kerätyn kasvinäytteen avulla Maataloustieteen laitoksella kokeneempien kasvitieteilijöiden kanssa.



Kuva 3. Valokuva yhden neliömetrin kokoisesta tutkimusruudusta otettiin noin 1,5 metrin korkeudelta Canon PowerShot G12 -kameran automaattisilla asetuksilla Manfrotton kolmijalkaisen jalustan varasta.

Jokaisesta tutkimusruudusta mitattiin tai arvioitiin visuaalisesti seuraavia kasvillisuuden rakenteeseen ja lajikoostumukseen liittyviä ominaisuuksia, joita voidaan verrata kuva-analyysin tuloksiin: kasvillisuuden tiheys ja korkeus (cm), paljaan maanpinnan ja karikkeen peittävyys (%) sekä kasvilajit ja niiden peittävyydet (asteikolla 1–9). Visuaaliset menetelmät olivat täsmälleen samat kuin Luonnonhoitopeltojen hyödyt -hankkeen kasvillisuustutkimuksessa (Toivonen ym. 2013), jotta tutkimuslinjalle asetuilta tutkimusruuduilta saatua aineistoa voitaisiin myöhemmin mahdollisesti vertailla koko tutkimuslinjalta visuaalisin menetelmin kerättyyn aineistoon.

Kasvillisuuden korkeus ja tiheys mitattiin tutkimusruudusta mittatikun avulla ruudun jokaisesta kulmasta sekä keskeltä ruutua eli yhteensä viidestä kohdasta. Korkeus mitattiin asettamalla mittatikku pystyyn kasvustoon ja arvioimalla kasvuston valtakorkeus 10 cm tarkkuudella. Tiheys mitattiin arvioimalla, mikä on matalin nähtävissä oleva mittalukema 10 cm tarkkuudella metrin korkeudelta ja kädenmitan etäisyydeltä mittatikusta. Paljaan maanpinnan ja karikkeen osuus arvioitiin silmämääräisesti maanpeittopro-

sentteina. Tutkimusruudun kasvilajit tunnistettiin – tosin osa lajeista, esimerkiksi useimmat heinät, tunnistettiin vain suvulleen. Kasvit nimettiin Retkeilykasvion mukaan (Hämet-Ahti ym. 1998). Kasvilajien ja -sukujen peittävyys ilmoitettiin yhdeksänluokkaisen logaritmisin asteikon avulla: $1 \leq 0,125 \%$, $2 \leq 0,5 \%$, $3 \leq 2 \%$, $4 \leq 4 \%$, $5 \leq 8 \%$, $6 \leq 16 \%$, $7 \leq 32 \%$, $8 \leq 64 \%$, $9 > 64 \%$ (taulukko 1). Koska tämä tutkimus tehtiin Luonnonhoitopeltojen ympäristöhyödyt -hankkeen yhteydessä, oli luonnollista valita sama luokka-asteikko. Sama asteikko on ollut käytössä monissa muissakin suomalaisissa kasvillisuustutkimuksissa, kuten maatalouden ympäristötuen vaikuttavuuden seurantatutkimuksissa (Aakkula ym. 2010) sekä perinnebiotooppien seurantatutkimuksissa (Raatikainen 2009).

Visuaalinen menetelmä ja valokuvausmenetelmä arvioivat kasvuston peittävyyttä eri tavoin. Valokuvausmenetelmällä saadaan tietoa vain kasvillisuuden ylimmäisestä kerroksesta – matalakasvuiset kasvit jäävät suurempien alle. Maastossa tapahtuva visuaalinen menetelmä ottaa huomioon kaikki kerrokset. Visuaalisen menetelmän yhteispeittävyys voi ylittää 100 %, koska eri kasvilajit ovat limittäin kasvustossa – toisin kuin valokuvausmenetelmällä arvioitaessa, jolloin enimmäisarvo on 100 %. Tässä tutkimuksessa visuaalisen menetelmän tulokset tosin suhteutettiin 100 %:iin, jotta tulokset olisivat keskenään vertailukelpoisia.

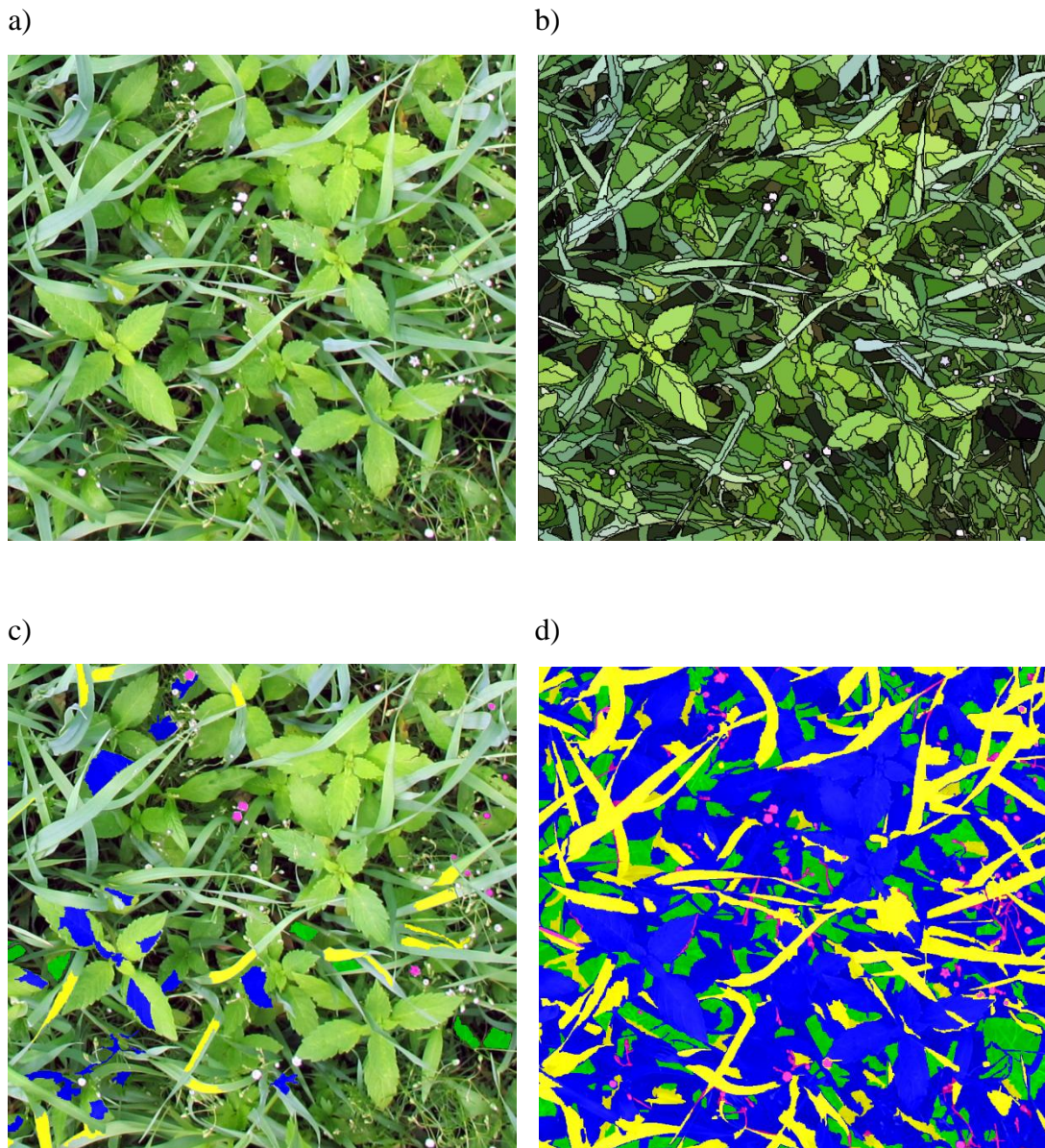
4.2 Aineiston käsittely ja analysointi

4.2.1 Kuva-analyysi

Aineisto analysoitiin Definiens Professional -ohjelmalla, jossa kuvien tulkinta perustuu aluepohjaiseen segmentointiin ja segmenttien luokitteluun. Kuvissa esiintyvät ylimääräiset kohteet, kuten kulmatikut tai havaintokehikko, rajattiin pois Corel PhotoPaint X5 -kuvankäsittelyohjelmalla (versio 15.1, Corel Corporation, Ottawa, Kanada) ennen aineiston tuontia jpg-tiedostoina Definiens-ohjelmaan. Kappaleessa 2.4.3 kuvattujen projektiivisten ja perspektiivisten vääristymien takia pinta-alat ja suhteet kuvissa vääristyvät. Tästä syystä havaintoneliökään ei valokuviissa ole täysin neliön mallinen. Rajattaes-

sa pois havaintoneliön reunat rajataan joka tapauksessa kuvasta pois kasvillisuutta myös neliön sisältä, eivätkä rajatut kuvat ole siten tasan yhden neliömetrin kokoisia.

Definiens Professional -ohjelman version 5 käyttöoppaassa (Definiens 2006) selostetaan tarkkaan kuva-analyysin eri vaiheet, joita on havainnollistettu myös kuvassa 4. Tämä kappale pohjautuu käyttöoppaan lisäksi omiin havaintoihin ohjelmasta.



Kuva 4. Tutkimusruudun osa, jolle on tehty kuva-analyysin eri vaiheet: a) alkuperäinen kuva b) segmentoitu kuva c) valitut näytesegmentit d) valmis luokittelu

Segmentoinnissa kuvan erillisistä pikseleistä tehdään yhtenäisiä osa-alueita eli segmenttejä (kuva 4b). Kuvien segmentointi tehtiin Definiens-ohjelmalla käyttäen moniresoluu-tio-segmentointi (engl. *multiresolution segmentation*) -algoritmia. Automaattisen tul-kinnan tulokseen voidaan vaikuttaa säätämällä algoritmin parametrien arvoja. Ohjelma ja käyttöopas eivät anna valmiita vastauksia siihen, mitä parametrien arvoja pitäisi käyt-tää. Näin ollen aineistosta valittiin muutamia testikuvia, joille kokeiltiin erilaisia yhdis-telmiä parametrien arvoista, ja valittiin tuloksista visuaalisesti paras. Ohjenuorana käy-tettiin Luscierin ym. (2006) ja Laliberten ym. (2007) tutkimuksissa käytettyjä arvoja.

Asteikko (engl. *scale*) -parametri on abstrakti käsite, joka määrää suurimman sallitun heterogeenisyyden segmentoinnin tuloksena syntyville osa-alueille. Mitä suuremman arvon parametri saa, sitä suurempia ovat tuloksena syntyneet segmentit. Koska tämän tutkimuksen aineisto on suhteellisen heterogeenistä, valittiin asteikko-parametrin arvok-si 30.

Heterogeenisyys-kriteeri on jaettu kahteen parametripariin: väri / muoto (engl. *color / shape*) sekä tiiviys / tasaisuus (engl. *compactness / smoothness*), joille annetaan paino-arvo 0,1 ja 0,9 välillä. Ne määrittävät, kuinka kuvan pikselit jaetaan eri ryhmiin. Tässä tutkimuksessa muotoa painotettiin 60 % ja väriä 40 %, jolloin segmentointi perustuu enemmän rakenteelliseen homogeenisyyteen kuin värieroihin. Muoto-parametri koostuu edelleen kahdesta alaparametristä: tiiviys ja tasaisuus. Koska tämän tutkimuksen aineis-to on suhteellisen heterogeenistä, tasaisuutta painotettiin 90 % ja tiiviyttä 10 %. Seg-mentointi toistettiin jokaiselle kuvalle samoilla arvoilla.

Segmentoinnin jälkeen siirryttiin segmenttien luokitteluun. Luokittelu tehtiin Definiens-ohjelmalla käyttäen lähimmän naapurin menetelmää (engl. *nearest neighbor classification*). Se on nopea ja yksinkertainen luokittelutapa, jossa segmenttien luokitte-lu tapahtuu näytesegmenttien ja valittujen ominaisuuksien avulla. Luokittelua varten luotiin luokkahierarkia (kuva 5c), joka koostui viidestä pääluokasta: paljas maa, karike, yksisirkkaiset kasvit, kaksisirkkaiset kasvit sekä varjoiset alueet. Karike on maanpinnal-la olevaa osittain hajonnutta eloperäistä aineista kuten kuolleita kasvinosien jäänteitä. Kaikki tutkimusruuduilta havaitut kasvilajit olivat koppisiemenisiä, jotka jaetaan yksi- ja kaksisirkkaisiin kasvilajeihin. Kaksisirkkaiset jaettiin kuva-analyysiä varten kahteen

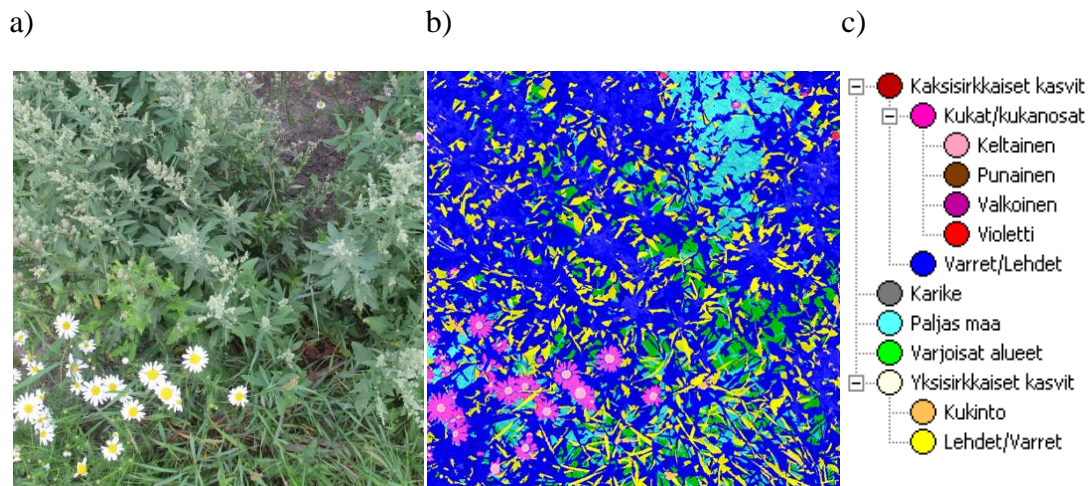
alaluokkaan: varret/lehdet sekä kukat/kukanosat, joista jälkimmäinen jaettiin edelleen värien perusteella omiin alaluokkiinsa: violetti, valkoinen, punainen ja keltainen. Muutaman testikuvan jälkeen myös yksisirkkaiset kasvit jaettiin kahteen alaluokkaan luokittelutarkkuuden parantamiseksi: kukinto ja varret/lehdet. Mikäli kasvusto on tiivis ja välissä on hyvin varjoisia, lähes mustia alueita, on mahdoton tietää pelkän valokuvan perusteella, mihin yllämainituista luokista alue kuuluu (liite 1, kuva 6). Tämän vuoksi tällaisille segmenteille luotiin oma luokkansa: varjoiset alueet. Lisäksi kahdessa kuvassa esiintyi muutamia segmenttejä, joita ohjelma ei osannut luokitella lainkaan.

Digitaalikamerat tallentavat kuvatiedostot RGB-muodossa. RGB-värikuvatiedosto koostuu kolmesta värikanavasta: punainen, vihreä ja sininen. Definiens-ohjelma tallentaa kuvat näiden kolmen eri kanavan mukaan erillisiksi kerroksiksi. Luokittelu tapahtuu erilaisten ominaisuuksien avulla, esimerkiksi pohjautuen näiden kerrosten eroihin. Ominaisuuksia voidaan valita miten monta tahansa. Mitä useampi ominaisuus valitaan, sitä tarkempi on tulos, mutta sitä kauemmin luokittelu kestää. Jotta saatiin selville tämän tutkimuksen aineistolle toimivin yhdistelmä, joka voitiin toistaa jokaiselle kuvalle, kekeiltiin testikuvilla erilaisia yhdistelmiä eri ominaisuuksista. Tässä hyödynnettiin ominaisuuksien optimointi (engl. *feature space optimization*) -työkalua, jolla voidaan laskea, mitkä ominaisuudet parhaiten kuvaavat aineistoa, ja montaako eri ominaisuutta olisi tarpeen käyttää. Lopulta päädyttiin valitsemaan ominaisuuksiksi jokaisen kerroksen keskiarvo sekä segmentin homogeenisuus vihreän värikanavan kerroksella. Samat ominaisuudet valittiin jokaiselle kuvalle.

Luokittelua varten jokaisesta luokasta valittiin noin 80–170 näytettä kuvaamaan tiettyä luokkaa (kuva 4c). Ainoana poikkeuksena ovat sellaiset tapaukset, joissa tietyn luokan vähäinen peittävyys kuvassa esti näin monen näytesegmentin valinnan, esimerkiksi luokka kukat. Näytteiden manuaalinen valinta toistettiin erikseen jokaiselle kuvalle, minkä vuoksi tämä työvaihe oli kuva-analyysin työläin ja kesti noin 10 minuuttia/kuva. Se myös vaatii tekijältä tarkkuutta ja asiantuntemusta. Ohjelmalla kesti luokittelussa noin 30–55 minuuttia riippuen kuvan heterogeenisyydestä. Laliberten ym. (2007) tutkimuksessa käytettiin näytesegmenttejä ainoastaan erottamaan kuollut ja elävä kasvillisuus toisistaan, minkä vuoksi heille riitti 10–15 näytesegmenttiä luokkaa kohti. Tässäkin tutkimuksessa kekeiltiin aluksi pienempää määrää näytesegmenttejä, mutta luokitte-

lutulokset olivat silminnähden hyvin epätarkkoja. Koska tässä tutkimuksessa luokkia oli enemmän, tarvittiin myös näytesegmenttejä enemmän erottamaan luokat toisistaan. Luscierin ym. (2006) artikkelista ei käynyt ilmi, kuinka montaa näytesegmenttiä heidän tutkimuksessaan käytettiin. Kuvassa 5 on esimerkki tutkimusruudulta otetusta valokuvasta, siitä tehdystä kuva-analyysistä sekä käytetystä luokkahierarkiasta.

Tulokset eri luokkien suhteellisista pinta-aloista kussakin kuvassa vietiin Microsoft Office Excel 2007 -ohjelmaan (versio 12, Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA) jatkokäsittelyä varten.



Kuva 5. a) 4,2 megapikselin digitaalinen valokuva neliömetrin kokoisesta tutkimusruudusta Viikin kesannolta. b) Definiens-ohjelmalla luokiteltu kuva, jossa kaksisirkkaisten lehtiä/varsia 64,0 %, yksisirkkaisten lehtiä/varsia 15,3 %, paljasta maata 9,7 %, varjoisia alueita 5,9 %, valkoisia kukkia 2,9 %, yksisirkkaisten kukintoja 1,6 %, keltaisia kukkia 0,6 % ja violetteja kukkia 0,1 %. Kuvassa ei esiintynyt lainkaan kariketta eikä punaisia kukkia. c) Definiens-ohjelmalla luotu luokkahierarkia

4.2.2 Tilastollinen analyysi

Valokuvausaineistosta laskettiin Excelillä kullekin luokalle prosentuaaliset pinta-alat. Koska varjoisista alueista ei voida tietää, mihin luokkaan ne kuuluvat, poistettiin luokka kokonaan ja siten sen osuus jakautui tasaisesti kaikkien luokkien kesken. Varjoisia alueita esiintyi yhtä lukuun ottamatta kaikilla tutkimusruuduilla. Keskimäärin varjoisia alueita oli 12 % kuvan pinta-alasta, vaihteluvälin ollessa 0–24,9 %. Myös luokittelemattomat alueet poistettiin kokonaan, mutta niitä oli vain kahdessa kuvassa: toisessa 0,01 % ja toisessa 0,02 %, joten niiden merkitys oli lähes olematon.

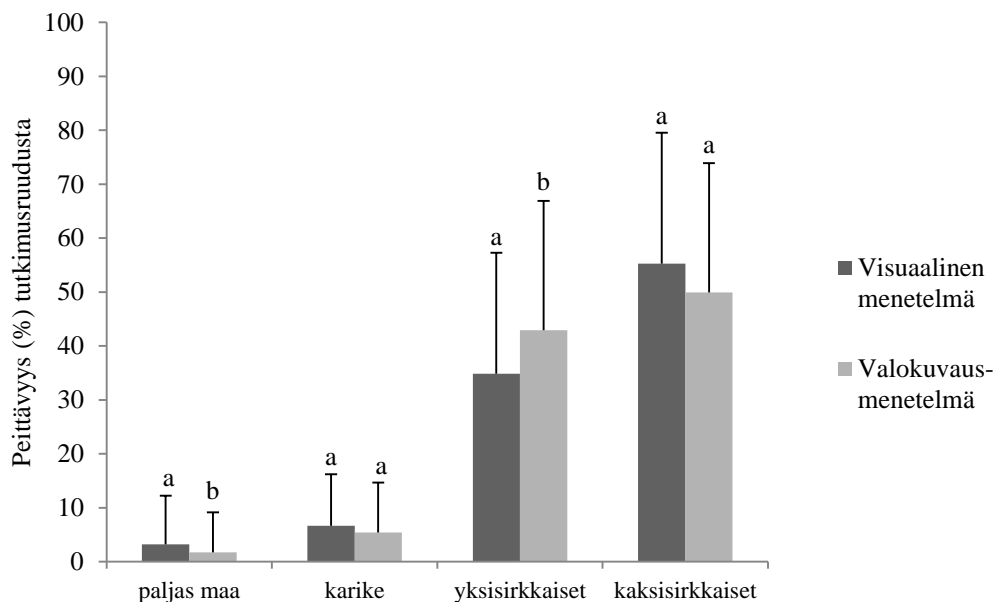
Visuaalisesta aineistosta vähennettiin Excelillä ensin tutkimusruudun kokonaispinta-alasta paljaan maan ja karikkeen osuus, jolloin jäljelle jäi kasvillisuusosuus, joka jaettiin yksi- ja kaksisirkkaisten kesken. Koska lajien peittävyys oli arvioitu yhdeksänluokkaisella asteikolla, korvattiin ensin jokainen runsausluokka kunkin luokan keskimmaisella arvolla. Tämän jälkeen kasvilajeista eroteltiin yksi- ja kaksisirkkaiset omiksi ryhmikseen, ja laskettiin niille suhteelliset osuudet. Näin visuaalisesta aineistosta saatiin vertailukelpoinen valokuvausmenetelmällä kerätyn aineiston kanssa.

Analysoinnissa käytettiin PASW Statistics -ohjelmaa (versio 18, SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Keskiarvojen eroja vertailtiin toisiinsa verrannollisten parien t-testin avulla. Mikäli populaatio ei ollut normaalijakautunut, käytettiin Wilcoxonin testiä. Aineistosta tarkasteltiin lisäksi korrelaatioita Pearsonin sekä Spearmanin korrelaatiokerrointen avulla. Yleensä käytettiin Pearsonia, mutta mikäli parametristen menetelmien oletus populaatioiden normaalijakautuneisuudesta ei toteutunut, käytettiin Spearmania. Pääsääntöisesti käytössä oli kaksisuuntainen testaus. Kuitenkin verrattaessa valokuvausmenetelmällä ja visuaalisella menetelmällä saatuja peittävyyskertoimia toisiinsa käytettiin yksisuuntaista testausta, koska yhteyden suunnasta oli ensimmäisen tutkimushypoteesin mukaan vahva ennako-oletus.

5 TULOKSET

5.1 Erot peittävyiden arvioinnissa valokuvausmenetelmän ja visuaalisen menetelmän välillä

Vertailtaessa valokuvausmenetelmää ja visuaalista menetelmää erosivat 30 tutkimusruudun peittävyysprosenttien keskiarvot osin toisistaan (kuva 6). Yksisirkkaisilla oli valokuvausmenetelmällä tilastollisesti merkitsevästi korkeampi peittävyysprosentti kuin visuaalisella menetelmällä ($p = 0,019$), kun taas paljaalle maalle valokuvausmenetelmä tuotti tilastollisesti merkitsevästi alhaisemman peittävyysprosentin kuin visuaalinen menetelmä ($p = 0,018$). Kaksisirkkaisten ja karikkeen peittävyysprosentteissa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa visuaalisen menetelmän ja valokuvausmenetelmän välillä ($p = 0,107$ ja $p = 0,455$, vastaavasti). Kasvusto tutkimusruuduilla oli vaihtelevaa, joten peittävyysien vaihteluvälit tutkimusruuduilla olivat suuria, mutta molemmilla menetelmillä samansuuntaisia (taulukko 2).

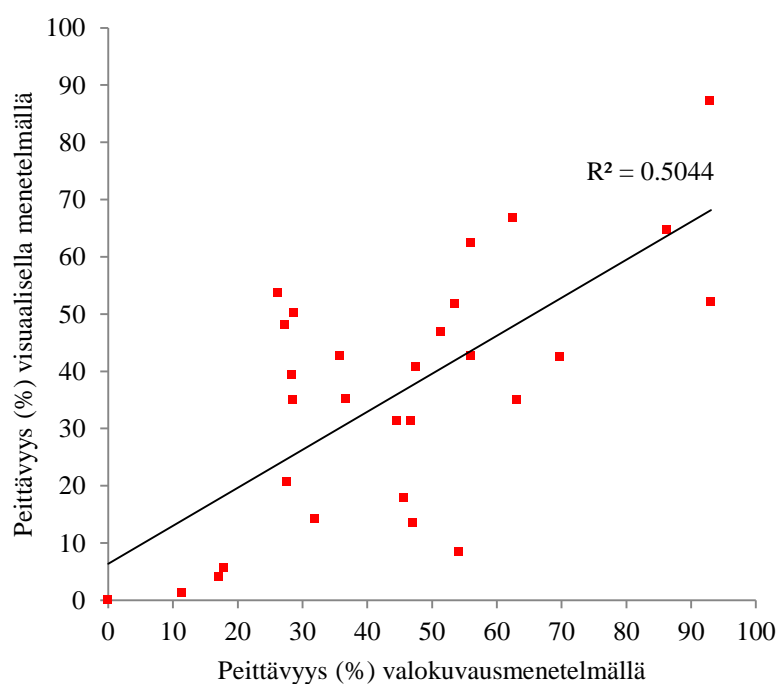


Kuva 6. Tutkimusruutujen ($n = 30$) paljaan maan ja karikkeen sekä yksi- ja kaksisirkkaisten kasvilajien peittävyysien (%) keskiarvot arvioituna visuaalisella menetelmällä ja valokuvausmenetelmällä. Keskiarvovertailut on tehty jokaiselle ryhmälle erikseen. Samalla kirjaimella merkityt keskiarvot eivät eroa toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ($p > 0,05$). Pylväiden päälle piirretyt janat kuvaavat keskihajontaa.

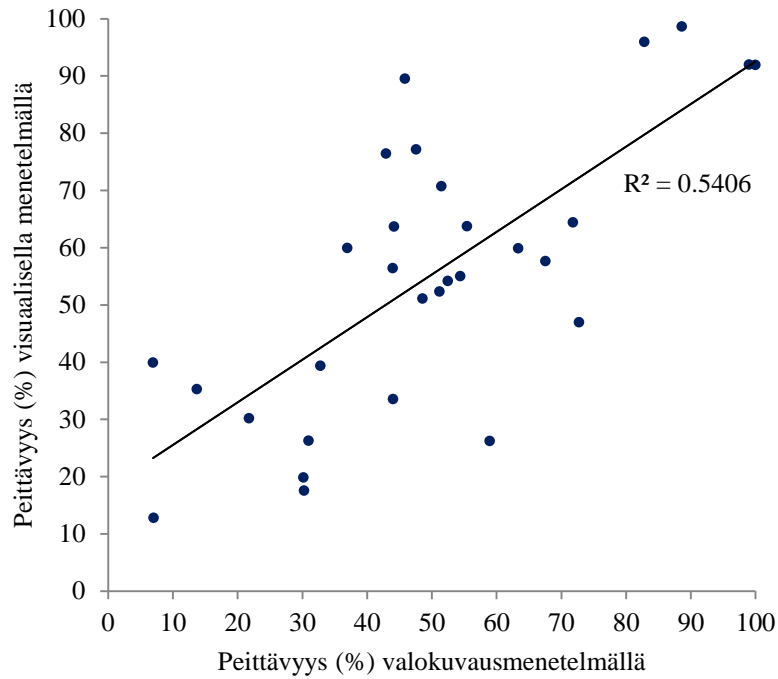
Taulukko 2. Tutkimusruutujen (n = 30) paljaan maan ja karikkeen sekä yksi- ja kaksisirkkaisten kasvilajien peittävyyksien (%) vaihteluvälit visuaalisella menetelmällä ja valokuvausmenetelmällä.

	Paljas maa	Karike	Yksisirkkaiset	Kaksisirkkaiset
Visuaalinen menetelmä	0,0–40,0	0,0–40,0	0,1–87,2	12,8–98,6
Valokuvausmenetelmä	0,0–39,6	0,0–41,2	0,0–93,1	6,9–100

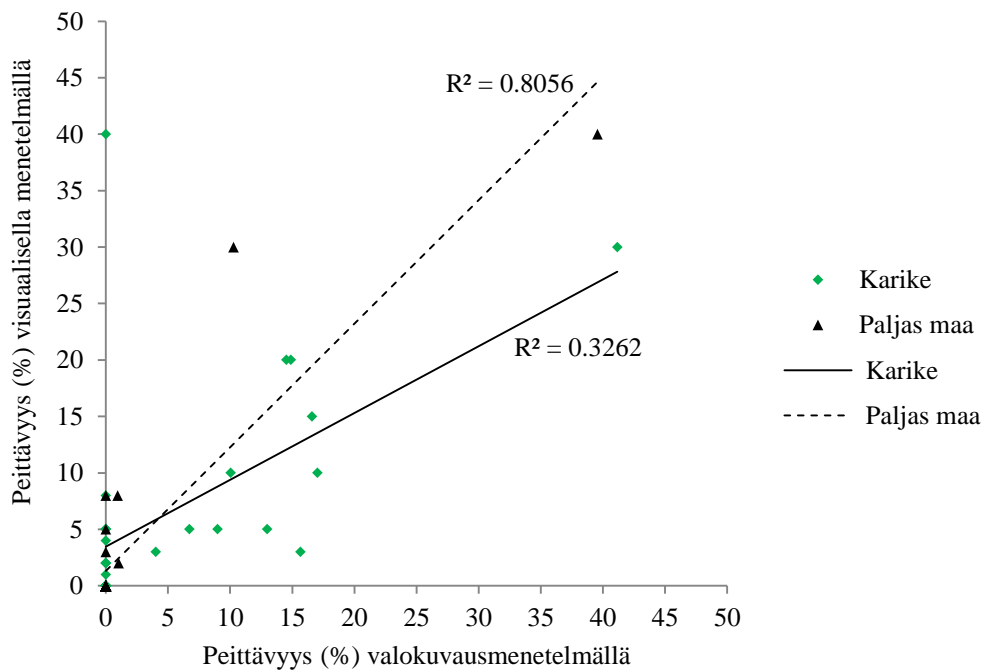
Visuaalisen menetelmän ja valokuvausmenetelmän välillä oli huomattava korrelaatio kaikissa luokissa (kuvat 7, 8 ja 9). Karikkeen korrelaatio ei ollut aivan yhtä voimakas (Spearman $r = 0,650$ ja $p < 0,001$) kuin paljaan maan, kaksisirkkaisten ja yksisirkkaisten korrelaatiot (Spearman $r = 0,745$ ja $p < 0,001$, Pearson $r = 0,735$ ja $p < 0,001$ sekä Pearson $r = 0,710$ ja $p < 0,001$, vastaavasti).



Kuva 7. Peittävyysprosenttien (0–100 %) korrelaatio valokuvausmenetelmän ja visuaalisen menetelmän välillä tutkimusruutujen (n = 30) yksisirkkaisille kasvilajeille.



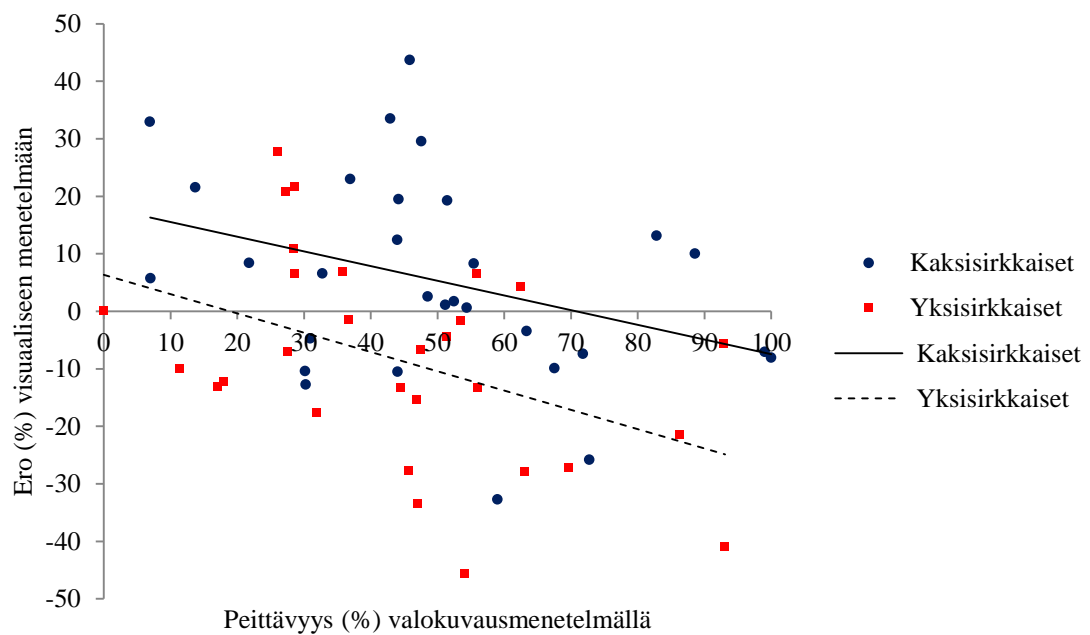
Kuva 8. Peittävyysprosenttien (0–100 %) korrelaatio valokuvausmenetelmän ja visuaalisen menetelmän välillä tutkimusruutujen (n = 30) kaksisirkkaisille kasvilajeille.



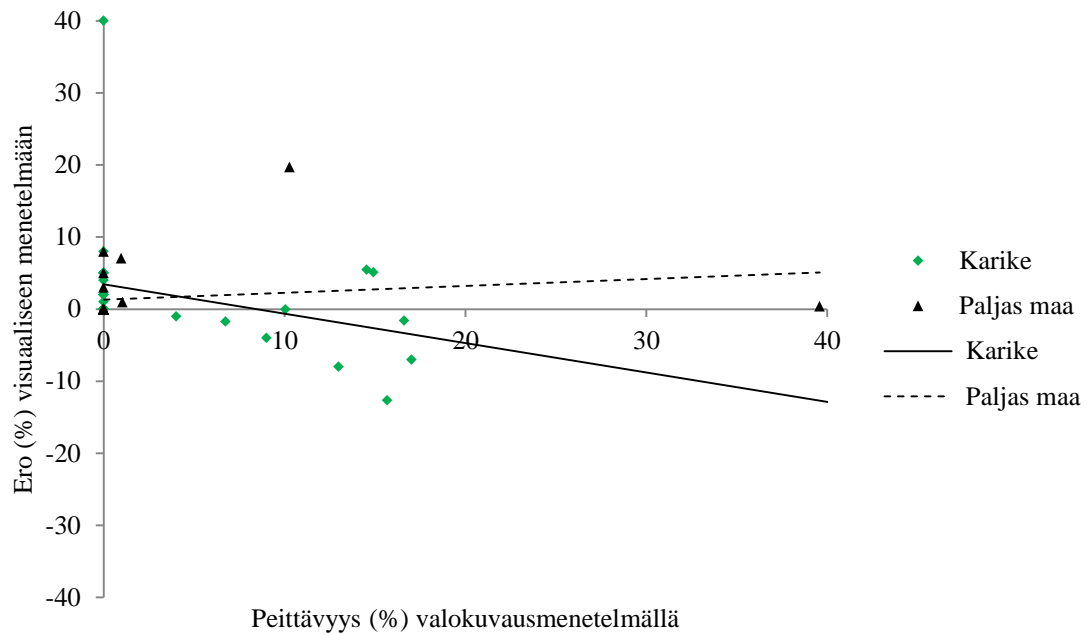
Kuva 9. Peittävyysprosenttien (0–50 %) korrelaatio valokuvausmenetelmän ja visuaalisen menetelmän välillä tutkimusruutujen (n = 30) karikkeelle ja paljaalle maalle.

Valokuvausmenetelmän ja visuaalisen menetelmän erot riippuvat kasvuston peittävydestä. Kuvasta 10 on havaittavissa samanlainen trendi sekä yksi- että kaksisirkkaisille: visuaalinen menetelmä arvioi usein peittävyys valokuvausmenetelmää suuremmiksi pienillä yksi- ja kaksisirkkaisten peittävyyksillä ja pienemmiksi suurilla peittävyyksillä.

Kaikista 30 tutkimusruudusta paljasta maata havaittiin visuaalisella menetelmällä seitsemällä tutkimusruudulla ja valokuvausmenetelmällä näistä neljällä. Valokuvausmenetelmän arvio paljaan maan peittävydestä oli aina pienempi kuin visuaalisen menetelmän (kuva 11). Kariketta havaittiin visuaalisella menetelmällä 21 tutkimusruudulla. Näistä 11:sta havaittiin kariketta valokuvausmenetelmällä, mutta lukuun ottamatta kahta poikkeusta karike oli arvioitu valokuvausmenetelmällä suuremmaksi tai yhtä suureksi kuin visuaalisella menetelmällä (kuva 11).



Kuva 10. Yksi- ja kaksisirkkaisten peittävyys ero valokuvausmenetelmän ja visuaalisen menetelmän välillä (n = 30).

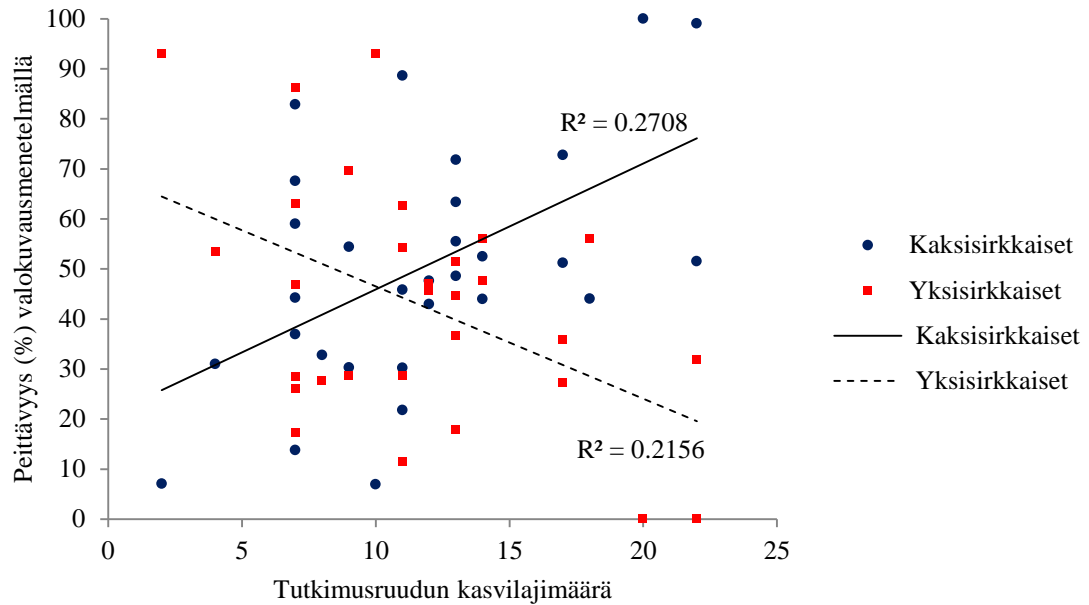


Kuva 11. Paljaan maan ja karikkeen peittävyys ero valokuvausmenetelmän ja visuaalisen menetelmän välillä (n = 30).

5.2 Kasvilajirikkauden ja kasvuston rakenteellisten ominaisuuksien arviointi valokuvausmenetelmällä saatujen peittävyysarvioiden avulla

Kaiken kaikkiaan 30 tutkimusruudulta havaittiin visuaalisesti yhteensä 106 kasvilajia tai -lajiryhmää: 15 yksisirkkaista ja 91 kaksisirkkaista. Tutkimusruuduilta havaitut yksisirkkaiset eivät olleet pelkästään heinäkasveja (*Poaceae*), vaan myös vihviläkasvien heimoon (*Juncaceae*) kuuluvia vihvilöitä (*Juncus* spp.) ja piippoja (*Luzula* spp.) havaittiin muutamia. Yhdellä tutkimusruudulla esiintyi keskimäärin 12, enimmillään 22 ja vähimmillään kaksi kasvilajia (liite 1, vertaa esimerkiksi kuvia 2 ja 5 kuvaan 1).

Kun kaksisirkkaisten peittävyys tutkimusruudulla kasvaa ja yksisirkkaisten peittävyys vähenee, kasvaa sitä mukaa tutkimusruudun kasvilajimäärä (kuva 12). Korrelaatiokerroin ovat merkitseviä, mutta vain kohtalaisen voimakkaita (Pearson $r = 0,520$ ja $p = 0,003$ sekä $r = -0,464$ ja $p = 0,010$, vastaavasti). Tutkimusruudun kokonaislajimäärän ja kukkien yhteispeittävyys välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota (Spearman $r = 0,281$ ja $p = 0,133$). Kukkia esiintyi 27 tutkimusruudulla, mutta niiden



Kuva 12. Valokuvausmenetelmällä arvioitujen yksi- ja kaksisirkkaisten peittävyysprosenttien korrelaatio tutkimusruudun ($n = 30$) kasvilajimäärän kanssa.

peittävyys oli vähäistä. Valkoisten kukkien peittävyys tutkimusruudusta oli keskimäärin 1,8 %, violettien kukkien 0,3 % ja keltaisten ja punaisten molempien 0,2 %.

Myös kasvuston rakenteellisia ominaisuuksia verrattiin valokuvausmenetelmän tuloksiin (taulukko 3). Aineistossa esiintyi kolme kohtalaisen voimakasta korrelaatiota. Kasvuston korkeuden ja paljaan maan peittävyyden välillä oli negatiivinen korrelaatio (Spearman $r = -0,431$ ja $p = 0,017$). Korkeuden keskihajonta korreloi positiivisesti yksisirkkaisten peittävyyden (Pearson $r = 0,430$ ja $p = 0,018$) ja negatiivisesti kaksisirkkaisten peittävyyden kanssa (Pearson $r = -0,456$ ja $p = 0,011$). Muita tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita ei aineistossa esiintynyt.

Taulukko 3. Valokuvausmenetelmällä arvioitujen yksi- ja kaksisirkkaisten sekä paljaan maan, karikkeen ja varjoisten alueiden peittävyysprosenttien riippuvuus tutkimusruudulta ($n = 30$) mitatuista kasvuston rakenteellisista ominaisuuksista eli korkeudesta ja tiheydestä sekä niiden keskihajonnoista (s). Riippuvuutta mitattiin joko Pearsonin tai Spearmanin korrelaatiokertoimilla (r) riippuen ryhmien normaalijakautuneisuudesta. Lihavoidut korrelaatiot ovat tilastollisesti merkitseviä ($p < 0,05$).

	Yksisirkkaiset		Kaksisirkkaiset		Karike		Paljas maa		Varjo	
	r	p	r	p	r	p	r	p	r	p
Korkeus	0,283	0,129	-0,193	0,306	0,072	0,705	-0,431	0,017*	0,033	0,864
Korkeus (s)	0,430	0,018*	-0,456	0,011*	0,045	0,813	-0,093	0,625	0,224	0,235
Tiheys	0,004	0,985	0,134	0,480	-0,106	0,578	-0,323	0,081	-0,074	0,698
Tiheys (s)	0,184	0,331	-0,071	0,710	-0,008	0,968	-0,316	0,089	-0,049	0,797

* $p < 0,05$

5.3 Valokuvausmenetelmän ja visuaalisen menetelmän vaatima ajankäyttö

30 tutkimusruudun aineiston keräämiseen ja käsittelyyn kului valokuvausmenetelmällä odotusten mukaisesti yli 50 % vähemmän aktiivista työaika kuin visuaalisella menetelmällä (taulukko 4). Visuaalinen menetelmä ei kuitenkaan vaatinut lainkaan passiivista työaika, minkä vuoksi siihen tarvittava kokonaistyöaika oli valokuvausmenetelmää pienempi.

Visuaalisen menetelmän maastotyö, eli kasvilajien havainnointi ja niiden peittävyysarviointi, vei keskimäärin 20 minuuttia tutkimusruutua kohti ja vaati kahden ihmisen työpanoksen, eli yhteensä 40 henkilötyöminuuttia ruutua kohti. Lajirikkaiden tutkimusruutujen havainnointi vei lajiköyhiä enemmän aikaa. Valokuvausmenetelmän vaatima maastotyö, eli kolmijalan pystyttäminen ja valokuvan ottaminen tutkimusruudusta, oli huomattavasti nopeampaa: vain noin 3 minuuttia tutkimusruutua kohti.

Taulukko 4. Käytetty työaika henkilötyötunteina 30 tutkimusruudun aineiston keräämiseen ja käsittelyyn valokuvausmenetelmällä ja visuaalisella menetelmällä. Passiivisen työtehtävän aikana työntekijä voi tehdä muita töitä, toisin kuin aktiivisena työaikana; tässä tapauksessa passiivinen työtehtävä tarkoittaa kuva-analyysiohjelman tekemää luokittelua. Matkustusaikaa ruudulta toiselle ei otettu huomioon.

	Maastotyö (h)	Toimistotyö (h)		Yhteensä (h)	
	Aktiivinen	Aktiivinen	Passiivinen	Aktiivinen	Passiivinen
Visuaalinen menetelmä	20,0 ^a	2,0 ^b	-	22,0	-
Valokuvausmenetelmä	1,5 ^c	8,0 ^d	20,0 ^e	9,5	20,0

^a 20 min/ruutu, 2 henkilöä, ^b 4 min/ruutu, 1 henkilö

^c 3 min/ruutu, 1 henkilö, ^d 16 min/ruutu, 1 henkilö, ^e 40 min/ruutu, 1 henkilö

Visuaalisen menetelmän toimistotyö tarkoittaa aineiston tallentamista maastotyölomakkeilta tietokoneelle, ja se vei keskimäärin 4 minuuttia tutkimusruutua kohti. Tässä tutkimuksessa valokuvausmenetelmän aktiivinen toimistotyö vei keskimäärin 16 minuuttia yhtä kuvaa kohti: ensimmäiset 3 minuuttia kuluivat aineiston tallentamiseen ja kuvan rajaamiseen, seuraavat 2 minuuttia aineiston segmentointiin, seuraavat 9 minuuttia sopivien näytesegmenttien valintaan, ja loput 2 minuuttia tulosten tallentamiseen. Valokuvausmenetelmän passiivinen toimistotyö eli Definiens-ohjelman tekemä luokittelu vei keskimäärin 40 minuuttia yhtä kuvaa kohti. Kun ohjelma prosessoi aineistoa, sitä ei voi käyttää samaan aikaan muuhun, esimerkiksi seuraavan kuvan esikäsittelyyn. Sillä aikaa voi kuitenkin tehdä muita töitä tietokoneella, joten työvaihe ei vaadi työntekijän aktiivista työaikaa.

Tässä tutkimuksessa ei otettu huomioon matkustukseen kuluvaan aikaa, sillä molempien menetelmien aineisto kerättiin samalla tutkimusruutukäynnillä. Myöskään menetelmien harjoitteluun kuluvaan aikaa ei otettu huomioon, sillä se on täysin riippuvainen työntekijän aikaisemmasta kokemuksesta.

6 TULOSTEN TARKASTELU

6.1 Erot peittävyiden arvioinnissa valokuvausmenetelmän ja visuaalisen menetelmän välillä

Ensimmäisenä osatavoitteena oli selvittää, kuinka valokuvausmenetelmällä kerätty aineisto kasvuston peittävydestä eroaa visuaalisella menetelmällä kerätystä aineistosta. Tässä tutkimuksessa käytetty visuaalinen menetelmä arvioi kasvuston kokonaispeittävyttä, kun taas valokuvausmenetelmä ainoastaan kasvuston päällyskerroksen peittävyttä. Visuaaliset kasvuston peittävyttä arvioivat menetelmät ovat subjektiivisia, sillä ne perustuvat tutkijan silmämääräiseen arvioon (esimerkiksi Chapman 1976, Barbour ym. 1999). Koska valokuvausmenetelmät perustuvat kuva-analyysiohjelmiin, on tutkijasta aiheutuva tulosten vääristyminen vähäisempää (Booth ym. 2005, Luscier ym. 2006). Monikerroksisten ja hajanaisten kasvustojen oikeaa peittävyttä on lähes mahdoton tietää, eikä tämän vuoksi kumpikaan menetelmistä täysin kuvaa tutkimusruudun reaalitytilannetta. Visuaalisen ja valokuvausmenetelmän välillä oli kuitenkin kaikissa neljässä luokassa selkeä riippuvuus, eli tulokset tutkimusruutujen peittävyyksistä olivat samansuuntaisia menetelmästä riippumatta. Tulokset ovat yhtäpitäviä ensimmäisen tutkimushypoteesin kanssa. Tässä tutkimuksessa paljasta maata ja kariketta ei esiintynyt kaikilla tutkimusruuduilla ja niilläkin, joilla esiintyi, niiden peittävyys oli verrattain pieni. Kasvuston kokonaispeittävyys tässä tutkimuksessa oli siten aina suhteellisen suuri.

Erot yksi- ja kaksisirkkaisten kasvilajien peittävyksien keskiarvoissa menetelmien välillä johtuvat osin kasvien kasvutavoista sekä valokuvausmenetelmän perspektiivisestä virheestä: korkeat ja toisten kasvilajien päälle kaartuvat kasvit peittävät ylhäältäpäin tarkasteltaessa todellisuutta suuremman alan (liite 1, kuva 5). Erot selittynevät myös visuaalisen menetelmän subjektiivisuudella. Tutkijat yliarvioivat usein huomiota herättävien kasvilajien peittävyiden (Kent ja Coker 1992, s. 46), minkä vuoksi esimerkiksi kukkivan kaksisirkkaisen kasvilajin peittävyys arvioidaan herkästi väärin. Toisaalta ohutlehtisten kasvilajien peittävyiden arvioinnin on havaittu olevan leveälehtisiä hankalampaa (Clymo 1980, Sykes ym. 1983), minkä vuoksi myös yksisirkkaisten kasvilajien peittävyksien visuaalisessa arvioinnissa on usein subjektiivisuudesta aiheutuvia virhei-

tä. Osin erot voivat selittyä myös kuva-analyysiohjelman luokitteluvirheillä. Kasvien kasvutavat selittänevät myös sitä, miksi valokuvausmenetelmän ja visuaalisen menetelmän arviot eroavat toisistaan erilaisilla peittävyyksillä. Osin tämä johtunee myös siitä, että subjektiivisuudesta aiheutuvat virheet ovat suurimpia todellisen peittävyyden ollessa lähellä 50 %:a (Sykes ym. 1983, Bennett ym. 2000).

Odotusten mukaisesti monilla tutkimusruuduilla, joilla kariketta tai paljasta maata oli havaittu visuaalisilla menetelmillä, ei valokuvausmenetelmällä sitä havaittu lainkaan. Paljaan maan peittävyys oli visuaalisella menetelmällä aina suurempi kuin valokuvausmenetelmällä, mutta karikkeelle saatiin odottamaton tulos: kariketta oli suurella osalla tutkimusruuduista valokuvausmenetelmällä arvioiden enemmän kuin visuaalisella menetelmällä. Visuaalinen menetelmä on subjektiivinen, ja on mahdollista, että karikkeen peittävyys on herkästi aliarvioitu. On myös mahdollista, että kuva-analyysissä on tapahtunut luokitteluvirheitä esimerkiksi karikkeen ja yksisirkkaisten kukintojen välillä (liite 1, kuva 3).

Erot menetelmien välillä saattavat osin myös selittyä varjoisten alueiden osuudella, joka oli keskimäärin 12 % tutkimusruudusta. Valokuvasta tarkasteltaessa oli mahdoton tietää, mihin luokkaan lähes mustat, täysin varjoiset alueet kuuluivat (liite 1, kuva 6), ja siten ne jaettiin suhteessa tasaisesti kaikkien luokkien kesken. On hyvin mahdollista, että varjoiset alueet kuuluivat tosiasiaassa esimerkiksi vain yhteen luokista, jolloin arvio luokkien peittävyyksistä vääristyi. Varjojen aiheuttamia ongelmia voitaisiin tulevaisuudessa vähentää joko varjostamalla tutkimusruutua (Bennett ym. 2000) tai HDR-kuvien avulla (Cox ja Booth 2009) (katso kappale 2.4.3).

6.2 Kasvilajirikkauden ja kasvuston rakenteellisten ominaisuuksien arviointi valokuvausmenetelmällä saatujen peittävyysarvioiden avulla

Tämän tutkimuksen toisena osatavoitteena oli tarkastella, voidaanko valokuvausmenetelmällä saatujen peittävyysarvioiden avulla saada tietoa tutkimusruudun kasvilajirikkaudesta tai kasvuston rakenteellisista ominaisuuksista. Odotusten mukaisesti kasvilajirikkauden ja yksisirkkaisten heinäkasvien peittävyyden väliltä löytyi kohtalainen negatiivinen korrelaatio ja vastaavasti kaksisirkkaisten osalta kohtalainen positiivinen korre-

laatio. Tutkimustulos tukee aiempia havaintoja, joiden mukaan heinäkasvilajit saattavat vallata herkästi suuria alueita eivätkä jätä tilaa monilajisemmille kaksisirkkaisille kasvilajeille (Baer ym. 2005, Blake ym. 2011). Korrelaatiokertoimet eivät kuitenkaan olleet kovin vahvoja, joten mitään suoria ennusteita kasvilajirikkaudesta ei voi pelkän kuva-analyysin peittävyysarvojen perusteella tehdä. Lisäksi tässä tutkimuksessa yksisirkkaiset kasvit määritettiin usein vain suvulleen, minkä vuoksi niiden todellinen lajimäärä lienee ainakin hiukan arvioitua suurempi. Liitteessä 1 on esimerkkikuvia tutkimusruuduista: kuvassa 1 on nähtävissä suuri yksisirkkaisten kasvilajien peittävyys ja vähäinen lajirikkaus, ja kuvassa 2 suuri kaksisirkkaisten kasvilajien peittävyys ja suuri lajirikkaus.

Hollannissa valokuvan värien lukumäärän havaittiin korreloivan positiivisesti pientareen kasvilajimäärän kanssa (de Snoo ym., julkaisematon). Artikkelin käsikirjoituksesta ei kuitenkaan käynyt tarkalleen ilmi, kuinka värien lukumäärä oli laskettu, minkä vuoksi menetelmää ei voitu kokeilla tämän tutkimuksen yhteydessä. Sen sijaan selvitettiin kuva-analyysiohjelmalla violettien, valkoisten, punaisten ja keltaisten kukkien peittävyys. Koska kukkia esiintyi otoksessa suhteellisen vähän, voitiin korrelaatio selvittää ainoastaan kukkien yhteispeittävyyden ja kasvilajimäärän välillä. Tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota ei ollut. Tässä tutkimuksessa kartoitetuista tutkimusruuduista vain hyvin pieni osa oli kylvettyjä, ja lajirikkaimmilla tutkimusruuduilla esiintyi vain 22 kasvilajia. Toivonen ym. (2013) todistivat luonnonhoitopeltojen ympäristöhyötyjä selvittävässä tutkimushankkeessa, että luonnonhoitopelloilla Suomessa saattaa olla jopa yli 50 kasvilajia. Otoksikko oli kuitenkin huomattavasti suurempi ($n = 229$ vs. $n = 30$) ja myös tutkittavat alueet olivat suurempia; 1 m^2 tutkimusruudun sijaan Toivosen ym. tutkimuksessa tarkkailtiin $12,5 \text{ m}^2$ tutkimuslinjoja. Ajankohta tutkimuksissa oli suhteellisen sama. On mahdollista, että suuremmalla otoskooalla ja varsinkin alueilla, joille on tarkoitus nousta paljon kukkivia kasvilajeja, voisi lajimäärän ja esimerkiksi tietyn väristen kukkien peittävyyden välillä olla yhteys.

Tulosten perusteella näyttäisi siltä, ettei valokuvausmenetelmällä odotusten mukaisesti ole mahdollista varmasti ennustaa tai arvioida myöskään tutkimusruudun kasvuston tiheyttä tai korkeutta. Varjoiset alueet eivät korreloineet kasvuston tiheyden ja korkeuden kanssa, joten varjot kuvissa johtuivatkin kasvuston rakenteellisia ominaisuuksia enemmän esimerkiksi auringon kulmasta ja vuorokauden valo-olosuhteista. Selkein

negatiivinen korrelaatio oli kasvuston korkeuden ja paljaan maan peittävyiden välillä. Mitä matalampi on kasvusto, sitä todennäköisempää on, että paljas maa näkyy valokuvassa, koska kasvusto ei peitä sitä (liite 1, kuva 4). Kasvuston korkeuden keskihajonta oli sitä suurempaa, mitä suurempi peittävyys oli yksisirkkaisilla ja vastaavasti pienempi kaksisirkkaisilla. Tulos johtunee ainakin osaltaan tässä tutkimuksessa käytetystä korkeuden mittaustavasta sekä kasvien kasvutavoista. Mikäli tutkimusruudulla valtalajina ovat yksisirkkaiset heinäkasvit, niiden pitkät ja ohuet korret ja lehdet ovat ensinnäkin vaihtelevan pituisia, mutteivät myöskään yhtä suurella todennäköisyydellä kosketa mitattikua kuin leveämpilehtiset ja tasaisemmin kasvavat kaksisirkkaiset. Valokuvia silmäämääräisesti tarkastelemalla voi vertailla esimerkiksi kahden eri tutkimusruudun kasvuston rakenteellisia eroja, mutta mikäli halutaan tarkempaa tietoa kasvuston rakenteellisista ominaisuuksista, asia on tutkittava maastossa.

6.3 Valokuvausmenetelmän ja visuaalisen menetelmän vaatima ajankäyttö

Kolmantena osatavoitteena oli selvittää, voidaanko valokuvausmenetelmän avulla säästää aikaa verrattuna visuaalisiin menetelmiin. Odotusten vastaisesti visuaalinen menetelmä oli kokonaistyöajaltaan valokuvausmenetelmää nopeampi. Valokuvausmenetelmän ajankäytön pullonkaulaksi osoittautui passiivinen työaika. Tässä tutkimuksessa yhden valokuvan käsittely kuva-analyysiohjelmalla vei 16 aktiivista työminuuttia ja 40 passiivista työminuuttia. Luscier ym. (2006) ilmoittivat kuva-analyysin vievän vain noin 8 minuuttia kuvaa kohden, ja Laliberte ym. (2007) keskimäärin 15,5 minuuttia. Tämä saattaa selittyä sillä, että kuva-analyysin tehneet henkilöt olivat kokeneempia ja nopeampia kuva-analyysiohjelman käytössä, ja että näytesegmenttejä valittiin vähemmän kuvaa kohti. Lisäksi jälkimmäisessä tutkimuksessa luokkia oli vähemmän. Kuitenkin suurimmaksi osaksi tämä johtunee siitä, ettei aiemmissa tutkimuksissa kulunut lainkaan tai lähes ollenkaan passiivista työaikaa eli luokitteluvaihe oli huomattavasti nopeampi tehokkaampien tietokoneiden johdosta. Mikäli tässä tutkimuksessa luokitteluvaihe ei olisi vienyt lainkaan passiivista työaikaa, olisi valokuvausmenetelmä odotusten mukaisesti ollut kokonaistyöajaltaan visuaalista menetelmää puolet nopeampi.

On otettava huomioon, että tässä tutkimuksessa visuaalisin menetelmin kerätty aineisto antaa enemmän tietoa ruudun kasvilajiston monimuotoisuudesta, eli tutkimusruudun

kasvilajirikkaudesta ja eri kasvilajien suhteellisista runsauksista, kuin valokuvausmenetelmän tulos. Mikäli visuaalinen menetelmä karsittaisiin käsittämään ainoastaan samat osa-alueet kuin valokuvausmenetelmä, olisi maastotyöosuus huomattavasti nopeampi.

Joka tapauksessa valokuvausaineiston kerääminen maastossa on huomattavasti visuaalista menetelmää nopeampaa, joten maastotyöpäivän aikana saadaan kerättyä suurempi määrä aineistoa. Siten voidaan säästää tutkijoiden yöpymis- ja matkapäivärahakorvauksissa sekä matkustuskuluissa yöpymispaikan ja tutkimusalueen välillä. Suurempi otos johtaa luotettavampiin tilastollisiin päätelmiin (Booth ym. 2005) ja vähentää tyypin II virhettä eli nollahypoteesin virheellistä hyväksymistä (Cagney ym. 2011). Visuaalisen menetelmän maastotyöosuuteen tarvitaan yleensä kaksi tutkijaa, kun taas valokuvausmenetelmällä maastotyöt voi tehdä yksinkin (Booth ym. 2005). Myös visuaalinen menetelmä on toki mahdollista tehdä yksin, jolloin maastotyöhön käytetty kokonaisaika vähenee. Tulosten samanaikainen havainnointi ja kirjaaminen lisäävät kuitenkin työn kuormittavuutta, ja tämä voi heikentää tutkimuksen laatua. Kuten jo aiemmin todettiin, kaksi tutkijaa myös täydentävät toisiaan, mikäli toinen esimerkiksi jatkuvasti joko ylitäi aliarvioi peittävyys (Sykes ym. 1983) tai kasvintuntemuksessa esiintyy puutteita (Vittoz ja Guisan 2007).

Valokuvausmenetelmää käytettäessä sääolosuhteet ja vuorokauden ajankohta vaikuttavat tuloksiin visuaalista menetelmää enemmän. Hyvin sateisella ja/tai tuulisella säällä ei kuvia ole mahdollista ottaa ollenkaan, mutta toisaalta huonoissa sääolosuhteissa myös visuaalinen tutkimus hidastuu ja vaikeutuu. Valokuvat on paras ottaa aamu- ja iltapäivän välillä valo-olosuhteiden ja auringon kulman ollessa optimaalisimmillaan. Valokuvausmenetelmää ei siis voi käyttää myöskään iltaisin tai hyvin aikaisin aamulla. Toisaalta myös visuaalisten menetelmien käyttäminen vaikeutuu hämärässä. Pitkä visuaalisin menetelmin tehty työrupeama myös uuvuttaa, ja tutkimuksen laatu sitä kautta heikenee (Bråkenhielm ja Qinghong 1995).

Valokuvausmenetelmän maastotyöosuus ei vaadi erityistä asiantuntemusta, mutta toimistotyöosuus vaatii työntekijältä perehtymistä ja/tai kokemusta kuva-analyysiohjelman käytöstä. Definiens-ohjelma on suhteellisen helppokäyttöinen ja käyttäjäystävällinen, mutta vaatii siitä huolimatta perusteellista tutustumista ohjelmaan ennen sen käyttöä

tutkimustyössä. Visuaalisen menetelmän toimistotyöosuus on yksinkertaista tietojen tallentamista, mutta vastaavasti maastotyöosuus vaatii harjoittelua ja/tai kokemusta. Kuva-analyysiohjelman ja visuaalisen maastotyömenetelmän harjoittelu vaatii aikaa, mutta koska harjoittelu-aika on täysin riippuvainen työntekijän aikaisemmasta kokemuksesta, sitä ei otettu huomioon kokonaistyöajassa. Tämä on huomioitava, kun valitaan sopivaa menetelmää kasvilajiston monimuotoisuuden kartoitukseen ja arvioidaan sen viemää työaikaa. Koska Definiens-ohjelman lisenssi maksaa, voidaan hanketta suunniteltaessa harkita myös muita, ilmaisia pikselipohjaisia kuva-analyysiohjelmiä. Definiens on kuitenkin monikäyttöinen segmentointiin perustuva ohjelma, jota voidaan käyttää monipuolisesti myös muissa tutkimushankkeissa.

Visuaaliset menetelmät on monissa tutkimuksissa todettu valokuvausmenetelmiä subjektiivisemmiksi ja heikommin toistettaviksi (esimerkiksi Booth ym. 2005, Luscier ym. 2006), minkä vuoksi valokuvausmenetelmän käyttöönotolle on perusteensa, vaikka aikaa kuluu yhtä paljon tai jopa enemmän.

6.4 Valokuvausmenetelmän SWOT-analyysi

Kirjallisuuskatsauksen, tulosten ja omien havaintojen pohjalta valokuvausmenetelmästä tehtiin SWOT-nelikenttäanalyysi (lyhenne sanoista: *Strengths*, *Weaknesses*, *Opportunities* ja *Threats*) (taulukko 5). Heinosen ym. (2003) mukaan SWOT-analyysi on hyvin käytännöllinen kvalitatiivinen tutkimusmenetelmä, jonka avulla selvitetään sekä analysoitavan kohteen nykytilaan vaikuttavat sisäiset ominaisuudet (vahvuudet ja heikkoudet) että sen tulevaisuuteen vaikuttavat ulkoiset tekijät (uhat ja mahdollisuudet). SWOT-analyysin pohjalta voitaisiin tehdä konkreettinen toimenpidesuunnitelma, jossa vahvuuksia vahvistettaisiin, heikkouksia korjattaisiin, mahdollisuuksia hyödynnettäisiin ja uhkiin varauduttaisiin tai ne torjuttaisiin. Tässä tutkimuksessa SWOT-analyysiä käytettiin tiedon tiivistämiseen ja luomaan kokonaisnäkemys tarkasteltavasta menetelmästä.

Taulukko 5. Valokuvausmenetelmän SWOT-analyysi.

<p style="text-align: center;">VAHVUUDET</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tutkijasta aiheutuva tulosten vääristyminen pientä: perinteisiä menetelmiä parempi toistettavuus ja tarkkuus • Maastotutkimus nopeaa ja vaatii vähän työvoimaa: perinteisiä menetelmiä suurempi otos laajemmalta alueelta lyhyemmässä ajassa <ul style="list-style-type: none"> ➤ Luotettavammat tilastolliset päätelmät (vähentää tyypin II virhettä ja otoksen sisäistä vaihtelua) ➤ Vähemmän kustannuksia ja luonnolle aiheutuvia haittoja • Valokuvat säilyvät tulevaisuuden käyttöä varten 	<p style="text-align: center;">HEIKKOUEDET</p> <ul style="list-style-type: none"> • Perspektiiviset, projektiiviset ja linssin aiheuttamat vääristymät sekä varjojen aiheuttamat ongelmat • Voidaan arvioida ainoastaan päällyskerroksen peittävyttä (perinteisillä menetelmillä kokonaispeittävyttä) <ul style="list-style-type: none"> ➤ Pienet ja matalat kasvilajit sekä lehvästön katveeseen jäävä maanpinta ja karike jäävät huomaamatta ➤ Ei saada tarkkaa lajikohtaista tietoa tutkimusalueelta kuten perinteisillä menetelmillä • Kuva-analyysiohjelmat käyttäjäriippuvaisia ja hankintakustannukset usein kalliita
<p style="text-align: center;">MAHDOLLISUUDET</p> <ul style="list-style-type: none"> • Yleinen kiinnostus monimuotoisuutta kohtaan kasvaa <ul style="list-style-type: none"> ➤ Enemmän rahoitusta tutkimukselle ➤ Mahdollistaa kuva-aineiston keräämisen vapaaehtoisten voimin • Teknologian kehitys (kamerat, kuva-analyysiohjelmat, tietokoneet, ilmakuvaukset) <ul style="list-style-type: none"> ➤ Uudet segmentointiin perustuvat kuva-analyysiohjelmat saavat enemmän jalansijaa tutkimuksissa ja syrjäyttävät vanhat pikselipohjaiset pelkkää spektraalista tietoa hyödyntävät ohjelmat • Täydennettävissä muilla menetelmillä 	<p style="text-align: center;">UHAT</p> <ul style="list-style-type: none"> • Taloudellinen taantuma <ul style="list-style-type: none"> ➤ Ei rahoitusta tutkimukselle <ul style="list-style-type: none"> ❖ Toisaalta tämä lisää painetta kehittää kustannustehokkaita menetelmiä kuten valokuvausmenetelmää • Tutkijat käyttävät nykyistä menetelmää epäsovinnalla alueilla tai huonoissa olosuhteissa kuten tuulisella säällä <ul style="list-style-type: none"> ➤ Tulosten tarkkuus heikkenee • Tutkijat jäävät käyttämään vanhoja, tuttuja menetelmiä <ul style="list-style-type: none"> ➤ Menetelmä jää kokeiluasteelle eikä pääse laajempaan käyttöön

6.5 Tulosten epävarmuustekijöitä

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin kahta erilaista kasvuston peittävyysarviointimenetelmää, joista kumpikaan ei täysin kuvaa tutkimusruudun reaalitilannetta. Visuaalinen menetelmä arvioi kasvuston kokonaispeittävyttä, mutta siinä esiintyy aina subjektiivisuudesta aiheutuvia virheitä. Valokuvausmenetelmä puolestaan hyödyntää objektiivisempia kuva-analyysiohjelmia, mutta arvioi ainoastaan kasvuston päällyskerroksen peittävyttä. Valokuvausmenetelmällä korkeiden kasvilajien peittävyttä siis yliarvioidaan ja matalien aliarvioidaan. Aineiston valokuvaamisen ja kuva-analyysin suoritti yksi henkilö, jolloin tekijästä aiheutuva vaihtelu valokuvausmenetelmässä saatiin minimoitua. Visuaalisiin tutkimuksiin osallistui yhteensä neljä henkilöä, joten vaihtelua oli sekä tutkijoiden sisällä että välillä.

Tässä tutkimuksessa käytetyssä visuaalisessa menetelmässä epätarkkuutta tuloksiin saattoi aiheuttaa luokka-asteikon käyttö. Oletus, että havainnot jakautuvat tasaisesti jokaisen luokan keskiarvon ympärille, voi aiheuttaa vääristymiä tuloksissa etenkin pienissä luokissa (Floyd ja Anderson 1987). Käytetyssä logaritmisessa asteikossa on kuitenkin monta pientä luokkaa, mikä todennäköisesti vähentää virheitä. Lisäksi tutkimuksessa käytetyn tiheyden ja pituuden mittaustekniikan luotettavuus on vaihtelevaa. Tekniikka on nopea ja helppo oppia, ja sitä on käytetty monissa aiemmissakin tutkimuksissa (esimerkiksi Robel ym. 1970, Vandenberghe ym. 2009). Erityisesti tiheyden mittarina sen kuitenkin huomattiin olevan riippuvainen sekä mittaajan pituudesta että mittaushetken tuuliolosuhteista. Tutkimukseen valitulla tekniikalla ei siis välttämättä saada täysin tarkkaa kuvaa kasvuston rakenteellisesta koostumuksesta, mutta sen oletettiin silti sopivan hyvin vertailuun peittävyysarvioiden kanssa.

Valokuvausmenetelmässä epävarmuutta tuloksiin aiheuttivat muun muassa valokuvissa esiintyvät vääristymät sekä kuva-analyysiohjelman riippuvuus käyttäjästä. Ensimmäisenä mainittuja virheitä ovat kappaleessa 2.4.3 kuvatut perspektiiviset, projektiiviset ja linssin aiheuttamat vääristymät. Omien havaintojeni mukaan suurimmat ongelmat liittyivät projektiivisiin eli kameran kallistumisen aiheuttamiin virheisiin, jotka johtivat siihen, ettei kuvakulma aina ollut täysin suoraan alaspäin. Varsinkin kasvuston ollessa korkeaa ja maaston ollessa epätasaista tai kaltevaa kameran asettaminen kohtisuoraan

alaspäin kolmijalan ja vatupassin avulla oli hyvin haastavaa ja tasaiseen maastoon verrattuna aikaavievää. Tämän vuoksi yksijalkaisen jalustan käyttämistä on suositeltu aiemmissa tutkimuksissa (Luscier ym. 2006). Tässä tutkimuksessa päädyttiin kuitenkin käyttämään kolmijalkaa, koska se oli valmiina saatavilla. Myös perspektiiviset ja linssin aiheuttamat vääristymät johtavat valokuvissa suhteiden vääristymiseen sekä siihen, ettei tutkimusruutu ollut välttämättä tasan yhden neliömetrin kokoinen. Ei sovi myöskään unohtaa varjoisten alueiden aiheuttamaa epävarmuutta.

Käyttäjän valitsemilla arvoilla, ominaisuuksilla ja näytesegmenteillä oli odotettua suurempi vaikutus kuva-analyysin tuloksiin. Definiens-ohjelma on tehty suhteellisen käyttäjäystävälliseksi, mutta siitä huolimatta ohjelma vaatii paljon harjoittelua ja paneutumista. Tässä tutkimuksessa ohjelmaan perehdyttiin huolella ja käyttäjä pyrki valitsemaan aiempien tutkimusten ja ohjelman käyttöoppaan avulla mahdollisimman sopivat parametrit ja näytesegmentit aineistolle. Siitä huolimatta tuloksissa esiintyi aivan selkeitä luokitteluvirheitä varsinkin karikkeen ja yksisirkkaisten kukintojen sekä yksi- ja kaksisirkkaisten lehtien välillä.

Oletettavasti myös suhteellisen pieni otoskoko ($n = 30$) heikentää tulosten luotettavuutta. Tutkimus tehtiin ainoastaan luonnonhoitopeltojen ja muiden kesantojen kasvillisuudesta, joten tuloksia ei voida yleistää koskemaan muunlaisia kasvustoja.

6.6 Valokuvausmenetelmän käyttömahdollisuuksia, kehittäminen ja lisätutkimuksen tarve

Tämä tutkimus antoi tärkeää teoreettista ja käytännön tietoa valokuvausmenetelmän vahvuuksista ja heikkouksista. Vastaavaa menetelmää ei ole Suomessa aiemmin kokeiltu maatalousalan tutkimuksissa, joten tutkimustulokset ovat varsinkin paikallisesti arvokkaita. Tästä tutkimuksesta saatujen kokemusten ja tulosten perusteella menetelmä otettiin käyttöön myös Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT) ja Helsingin yliopiston yhteisessä hevostalouden tutkimuksessa, joka on osa kansainvälistä InnoEquine-hanketta (Rantamäki-Lahtinen ym. 2012). Valokuvausmenetelmää käytettiin laidunpaineen selvittämiseen seuraamalla paljaan maan osuuden muutosta kasvu-

kauden aikana sekä hevoslaitumien ravitsemuksellista laatua selvittämällä heinäkasvien osuus kasvustosta (Irina Herzon, HY, suullinen tiedonanto 30.1.2013).

Valokuvausmenetelmän käyttömahdollisuudet ovat paljon nykyistä laajemmat – periaatteessa lähes yhtä rajattomat kuin millä tahansa muullakin kasvuston peittävyyttä arvioivalla menetelmällä. Valokuvausmenetelmän avulla voidaan nopeasti ja helposti tutkia, kuinka esimerkiksi tietyt hoitotoimenpiteet, kuten niitto tai torjunta-aineiden käyttö, vaikuttavat kasvilajiston monimuotoisuuteen: esimerkiksi heinäkasvilajien tai tietyn indikaattorilajin esiintymiseen. Indikaattorilajien avulla voidaan myös esimerkiksi selvittää, missä kasvipeitteisen kesannon pitäisi sijaita edistääkseen parhaiten pölyttäjähönteisten monimuotoisuutta. Paljaan maan muutosta seuraamalla voidaan tutkia esimerkiksi laidunpainetta tai eroosion etenemistä.

Vapaaehtoisten keräämän aineiston käyttö tutkimuksessa eli kansalaistiede (engl. *citizen science*) on saavuttanut tärkeän aseman ekologisissa tutkimuksissa (Dickinson ym. 2010). Suomessa on vankka perinne kansalaistieteestä etenkin linnustonseurannassa. Myös valokuvausmenetelmän aineistoa voisi kerätä vapaaehtoisten luontoharrastajien voimin, sillä se vaatii maastotyöntekijältään paljon vähemmän osaamista kuin perinteiset kasvuston peittävyyttä arvioivat menetelmät. Periaatteessa kuka tahansa voi ottaa kuvat, siirtää ne tietokoneelle ja lähettää eteenpäin analysoitavaksi – varsinkin jos kuvan ottaminen ei vaadi kalliita lisävarusteita, vaan se voidaan toteuttaa esimerkiksi vapaan käden tekniikalla (Cagney ym. 2011). Vapaaehtoisten avulla olisi mahdollista kerätä suuri määrä kuva-aineistoa laajalta alueelta, mutta aineiston laatu saattaa olla tutkijan ottamia kuvia heikompa. On myös varmistettava, että kuva-aineisto kerätään systemaattisella tavalla; kuvat otettaisiin esimerkiksi tietyn välimatkoin ennalta määrätyltä etäisyydeltä pellon reunasta. Kaiken kaikkiaan valokuvaamiseen liittyy niin paljon teknisiä haasteita, että vapaaehtoisilla aineistonkerääjillä pitäisi olla harrastuneisuutta valokuvauksessa.

Tässä tutkimuksessa kuvatulla valokuvausmenetelmällä ei ole mahdollista saada varmaa tietoa tutkimusruudun kasvilajirikkaudesta. Sen arviointiin voidaan kuitenkin kehittää muita menetelmiä, esimerkiksi aiemmin kuvattu de Snoon ym. (julkaisematon) menetelmä. Tämän tutkimuksen yhteydessä tehtiin pilottikokeilu, jossa kaksi kasvitieteilijää

tarkasteli tutkimuksen aineistona olleita valokuvia ($n = 30$) pelkästään silmämääräisesti ja laski nopeasti päällyskerroksessa esiintyneiden kasvilajien määrän. Tätä määrää verrattiin visuaalisiin menetelmin maastossa havaittuun lajimäärään tutkimusruudulta. Kaikkia lajeja ei odotetusti ole valokuvasta mahdollista erottaa: keskimäärin kuvista havaittiin noin 60 % visuaalisiin menetelmin havaitusta lajimäärästä. Muuttujien välillä oli kummankin kasvitieteilijän osalta kuitenkin selvä korrelaatio (Pearson $r > 0,77$ ja $p < 0,001$). Näin ollen pelkkä lajien nopea laskeminen valokuvasta voisi toimia karkeana tapana arvioida monimuotoisuutta.

Tämän tutkimuksen yhteydessä kerättiin Viikin kesannoilta seuranta-aineistoa, jonka avulla olisi mahdollista selvittää, kuinka kasvien fenologiset muutokset vaikuttavat peittävyysarvioinnin tuloksiin. Kasvillisuuden peittävyyden seurantatutkimukset pitäisi Elzingan ym. (2001, s. 218) mukaan tehdä joka vuosi samassa kasvukauden vaiheessa, koska muutoin havaitut muutokset saattavat johtua kasvien luonnollisesta kehittymisestä – eivät todellisesta muutoksesta. Kalenteriajankohtana se ei kuitenkaan ole täsmälleen sama, sillä kasvukausien sääolosuhteet vaihtelevat ja vaikuttavat kasvien kehittymisnopeuteen. Kasvien fenologinen muutos saattaa vaikuttaa tuloksiin myös silloin, jos kasvillisuustutkimus kestää useampia viikkoja tai tehdään maantieteellisesti laajalla alueella. Tämä on erityisen tärkeää Suomen kaltaisissa maissa, jotka ovat pohjois-eteläsuunnassa pitkiä, ja siten ilmasto-oloiltaan hyvin vaihtelevia. Koska uusilla valokuvausmenetelmillä aineisto voidaan kerätä maastosta perinteisiä menetelmiä nopeammin ja siten lyhyemmällä aikavälillä, voitaisiin vaihtelua saada pienemmäksi. Viikin seuranta-aineistosta saatujen alustavien tulosten mukaan näyttäisi siltä, että kasvillisuuden muutokset kasvukauden aikana todella ovat merkittäviä ja suuruudeltaan samaa luokkaa kuin MYTVAS-hankkeessa laskettu vuosien välinen vaihtelu (Irina Herzon, HY, suullinen tiedonanto 30.1.2013). Muutoksen suuruus riippuu kasvuston koostumuksesta ja kasvuolosuhteista: esimerkiksi keskellä kesantoa kasvillisuus ei näyttäisi muuttuvan yhtä paljon kuin kesantojen reunalla. Alustavat tulokset antavat viitteitä siitä, että tutkijoiden olisi kiinnitettävä huomiota siihen, kuinka pitkän aikavälin sisällä kasvillisuustutkimukset toteutetaan. Aihetta on tarpeen tutkia lisää.

Digitaalikamerat tallentavat kuvatiedostot RGB-muodossa. RGB-värijärjestelmässä värit kuvataan punaisen (engl. *red*), vihreän (engl. *green*) ja sinisen (engl. *blue*) intensi-

teettiarvoina. HSI- ja HSB -värijärjestelmät puolestaan koostuvat värisävystä (engl. *hue*), värikylläisyydestä (engl. *saturation*) ja intensiteetistä (engl. *intensity*) tai värin kirkkaudesta (engl. *brightness*). Jälkimmäisessä värijärjestelmässä eri kanavien on havaittu korreloivan keskenään vähemmän kuin ensin mainitussa, ja siten esimerkiksi eri kasvilajit on helpompi erottaa toisistaan (Laliberte ym. 2007, Chen ym. 2010). Tässä tutkimuksessa HSI-järjestelmää kokeiltiin muutamalle testikuvalle, mutta saatujen tulosten perusteella RGB-värijärjestelmä koettiin riittävän tarkaksi. HSI-järjestelmän käyttö olisi aiempien tutkimustulosten valossa ollut myös perusteltua, ja se olisikin eräs mielenkiintoisimmista lisätutkimuksen kohteista.

Tutkijan maastossa ottama valokuva on edullinen ja helppo vaihtoehto, mutta tekniikan jatkuva kehittyminen luo myös uusia mahdollisuuksia. Satelliitti- ja ilmakuvien laatu on parantunut ajan myötä paljon, ja nykyään niiden avulla tulkitaankin jo laajasti pensas- ja puukerrostien monimuotoisuutta. Esimerkiksi QuickBird-satelliitin spatiaalinen resoluutio on 61 cm (Seefeldt ja Booth 2006). Booth ja Cox (2008) tutkivat Coloradossa preerialla kasvuston peittävyysluokan avulla: paljas maa, karike, lehmän lanta, pensaat, kaktukset, ruskeat heinäkasvit ja vihreät heinäkasvit. Boothin ja Coxin mukaan segmentointiin perustuvat kuva-analyysiohjelmat ovat tulevaisuuden lupaus, mutta omassa tutkimuksessaan he käyttivät aineiston analysointiin manuaalista, pikselipohjaista SamplePoint-ohjelmaa. Tutkimuksessa verrattiin toisiinsa peittävyystuloksia, jotka oli saatu analysoimalla kahden metrin päästä otettuja maastokuvia ja sadan metrin päästä lentokoneella otettuja ilmakuvia. Ilmakuvien resoluutio todettiin riittäväksi, ja ilma- ja maastokuvien välillä havaittiin selvä korrelaatio. Ilmakuvaus vaatii kuitenkin kokemusta, tietoa ja kallista teknologiaa. Ilmakuvien kerääminen on Boothin ja Coxin mukaan maastokuvien keräämistä nopeampaa ja edullisempaa, mikäli tutkittava alue on yli 200 hehtaaria. Ilmakuvat sopivatkin hyvin esimerkiksi paljaan maan peittävyys- ja laajoilla, puuttomilla preerioilla, mutta ilmakuvien käyttö kenttä- ja pohjakerroksen monimuotoisuuden tutkimiseen Suomen metsäisissä olosuhteissa ja vaihtelevassa maisemamosaicissa on hankalaa.

Tulevaisuudessa varsinkin vaikeakulkuisissa maastossa tai kerätessä laajaa aineistoa valokuvat voitaisiin lentokoneen tai satelliitin sijaan ottaa myös miehittämättömällä ilma-aluksella (engl. *unmanned aerial vehicle* = UAV) (Knoth ym. 2013). Miehittämä-

tön ilma-alus on miehitettyä edullisempi ja turvallisempi vaihtoehto. Knothin ym. mukaan esimerkiksi kauko-ohjattava helikopteri voidaan ohjelmoida lentämään tietyllä suhteellisen matalallakin korkeudella ja ottamaan videota tai kuvia tietyin väliajoin. Kopteriin on mahdollista liittää myös laserkeilain, jolla saadaan kerättyä kasvillisuudesta kolmiulotteista tietoa ja siten koskematta kasvustoon selvittää kasvuston rakenteellisia ominaisuuksia.

Tässä tutkimuksessa käytettyä valokuvausmenetelmää olisi tärkeää tutkia lisää ja kehittää yhä edelleen. Menetelmän perusteellinen arviointi vaatisi paitsi suuremman otoskoon myös monilta erilaisilta kasvustoilta kerätyn aineiston. Tässä tutkimuksessa kuvatulla valokuvausmenetelmällä ei ole mahdollista saada lajikohtaista tietoa tutkimusruuduista kuten perinteisillä kasvuston peittävyttä arvioivilla menetelmillä. Tulevaisuus näyttää kuitenkin lupaavalta: kuva-analyysiohjelmat kehittynevät entistä helppokäyttöisemmiksi ja automaattisemmiksi, ja digitaaliset kamerat ja valokuvat entistä laadukkaammiksi. Pian lienee mahdollista erotella kuva-analyysiohjelmalla jokainen päällyskerroksessa esiintyvä kasvilaji omaksi ryhmäkseen jopa automaattisesti ilman joka kerta erikseen valittavia näytesegmenttejä. Valokuvausmenetelmä on tällä hetkellä vasta kehitystasasteella, mutta sillä on suuri mahdollisuus saavuttaa merkittävä jalansija monimuotoisuustutkimuksissa.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

1. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, voitaisiinko kasvillisuustutkimuksia täydentää digitaalisen valokuvauksen ja segmentointiin perustuvan kuva-analyysin avulla. Visuaalisella ja valokuvausmenetelmällä saatujen peittävyysarvioiden välillä havaittiin selkeä yhteys, joten valokuvausmenetelmän voidaan olettaa sopivan hyvin paljaan maan, karikkeen ja yksi- ja kaksisirkkaisten kasvilajien peittävyyksien arviointiin.
2. Valokuvausmenetelmällä voidaan arvioida ainoastaan päällyskerroksen peittävyttä, joten se sopii parhaiten matalalle, yksikerroksiselle kasvustolle. Monikerroksisille kasvustoille, joissa on monia samanlaisen morfologian omaavia

kasvilajeja ja lehvästön katveessa paljon paljasta maata tai kariketta, perinteinen visuaalinen menetelmä sopii edelleen valokuvausmenetelmää paremmin.

3. Tässä tutkimuksessa käytetyllä valokuvausmenetelmällä ei ole mahdollista saada varmaa tietoa tutkimusruudun kasvilajirikkaudesta tai kasvuston rakenteellisista ominaisuuksista. Tätä tarkoitusta varten kehitteillä on kuitenkin muita valokuvia hyödyntäviä menetelmiä.
4. Aineiston kerääminen maastossa on valokuvausmenetelmällä nopeampaa kuin visuaalisella menetelmällä. Tässä tutkimuksessa valokuvausmenetelmän ajankäytön pullonkaulaksi osoittautui passiivinen työaika eli kuva-analyysin luokiteluvaihe. Ongelma voidaan ratkaista tehokkaampien tietokoneiden avulla, jolloin valokuvausmenetelmä olisi kokonaistyöajaltaan visuaalista menetelmää nopeampi.
5. Vastaavaa menetelmää ei ole Suomessa aiemmin kokeiltu maatalousalan tutkimuksissa, joten tutkimustulokset antoivat varsinkin paikallisesti arvokasta tietoa valokuvausmenetelmän heikkouksista ja vahvuuksista. Valokuvausmenetelmä on vasta kehitysasteella, mutta sen on mahdollista jo nyt täydentää kasvillisuustutkimuksia. Tulevaisuuden kuva-analyysiohjelmilla lienee mahdollista mitata jokaisen päällyskerroksessa esiintyvän kasvilajin peittävyys tarkasti, toistettavasti ja tehokkaasti.

8 KIITOKSET

Haluan kiittää työni ohjaajaa dosentti Irina Herzonia Helsingin yliopiston Maataloustieteiden laitokselta kannustavasta ja paneutuvasta ohjaamisesta aina tutkimuksen suunnitteluvaiheesta tutkielman viimeistelyyn saakka. Kiitän myös agroekologian vastuuprofessoria Juha Heleniusta asiantuntevista neuvoista.

Kiitän Maa- ja metsätalousministeriötä Luonnonhoitopeltojen ympäristöhyödyt -hankkeen rahoituksesta. Haluan kiittää myös kaikkia tutkimuksen tekoon osallistuneita henkilöitä: erityisesti MMM Marjaana Toivosta, joka auttoi aineiston keräämisessä ja antoi monia arvokkaita vinkkejä. Kiitos kuuluu myös ympäristöneuvos Tapio Heikkilälle, jolta sain tärkeitä käytännön valokuvausvinkkejä ja joka lainasi ystävällisesti kolmijalkaansa tutkimukseen. Haluan kiittää myös Eduardo Gonzalez Latorrea, joka antoi hyvät ohjeet Definiens-ohjelman käyttöön. Lisäksi kiitän opponenttiani MMK Susanna Turusta.

Lopuksi haluan kiittää avomiestäni Anttia, joka jaksoi kannustaa ja tukea minua koko gradun teon ajan. Lämmin kiitos kuuluu myös vanhemmilleni ja isoveljilleni tuesta ja rohkaisusta. Haluan kiittää kaikkia ystäviäni ja opiskelukavereita, jotka ovat innostaneet minua eteenpäin: erityisesti graduklinikan väkeä ja C-talon kahviporukkaa. Erikseen kiitän vielä Marjoa, jonka kanssa on yhdessä ratkottu monet gradun tekoon liittyvät ongelmat ja pulmat, sekä Hannua ja Helenaa graduni oikoluvusta ja hyvistä kommentteista. Ilman teitä kaikkia olisi gradun teko ollut paljon vaikeampaa.

LÄHTEET

- Aakkula, J., Manninen, T. & Nurro, M. (toim.) 2010. Maatalouden ympäristötuen vaikuttavuuden seurantatutkimus (MYTVAS 3) : väliraportti. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 1/2010. 147 s.
- Baer, S.G., Collins, S.L., Blair, J.M., Knapp, A.K. & Fiedler, A.K. 2005. Soil heterogeneity effects on tallgrass prairie community heterogeneity: An application of ecological theory to restoration ecology. *Restoration Ecology* 13 (2): 413–424.
- Barbour, M.G., Burk, J.H., Pitts, W.D., Gilliam, F.S. & Schwartz, M.W. 1999. *Terrestrial plant ecology*. 3. painos. Menlo Park, Kalifornia: Benjamin/Cummings. 649 s.
- Benavides, J.C. & Sastre-De Jesús, I. 2009. Digitized images provide more accuracy and efficiency to estimate bryophyte cover. *Bryologist* 112 (1): 12–18.
- Bennett, L.T., Judd, T.S. & Adams, M.A. 2000. Close-range vertical photography for measuring cover changes in perennial grasslands. *Journal of Range Management* 53 (6): 634–641.
- Blake, R.J., Woodcock, B.A., Westbury, D.B., Sutton, P. & Potts, S.G. 2011. New tools to boost butterfly habitat quality in existing grass buffer strips. *Journal of Insect Conservation* 15 (1): 221–232.
- Bold, K.C., Wood, F., Edwards, P.J., Williard, K.W.J. & Schoonover, J.E. 2010. Using photographic image analysis to assess ground cover: a case study of forest road cutbanks. *Environmental Monitoring and Assessment* 163 (1–4): 685–698.
- Bonham, C.D. 1989. *Measurements for terrestrial vegetation*. New York: John Wiley & Sons. 338 s.
- Booth, D.T. & Cox, S.E. 2008. Image-based monitoring to measure ecological change in rangeland. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6 (4): 185–190.
- Booth, D.T. & Cox, S.E. 2011. Art to science: Tools for greater objectivity in resource monitoring. *Rangelands* 33 (4): 27–34.
- Booth, D.T., Cox, S.E. & Johnson, D.E. 2005. Detection-threshold calibration and other factors influencing digital measurements of ground cover. *Rangeland Ecology and Management* 58 (6): 598–604.

- Booth, D.T., Cox, S.E., Louhaichi, M. & Johnson, D.E. 2004. Technical note: Lightweight camera stand for close-to-earth remote sensing. *Journal of Range Management* 57 (6): 675–678.
- Booth, D.T., Cox, S.E., Meikle, T.W. & Fitzgerald, C. 2006. The accuracy of ground-cover measurements. *Rangeland Ecology and Management* 59 (2): 179–188.
- Booth, D.T., Cox, S.E., Fifield, C., Phillips, M. & Williamson, N. 2005. Image analysis compared with other methods for measuring ground cover. *Arid Land Research & Management* 19 (2): 91–100.
- Bråkenhielm, S. & Qinghong, L. 1995. Comparison of field methods in vegetation monitoring. *Water, Air, and Soil Pollution* 79 (1): 75–87.
- Burgos-Artizzu, X., Ribeiroa, A., Tellaecheb, A., Pajaresc, G. & Fernández-Quintanillad, C. 2009. Improving weed pressure assessment using digital images from an experience-based reasoning approach. *Computers & Electronics in Agriculture* 65 (2): 176–185.
- Cagney, J., Cox, S.E. & Booth, D.T. 2011. Comparison of point intercept and image analysis for monitoring rangeland transects. *Rangeland Ecology and Management* 64 (3): 309–315.
- Carlsson, A.L.M., Bergfur, J. & Milberg, P. 2005. Comparison of data from two vegetation monitoring methods in semi-natural grasslands. *Environmental Monitoring and Assessment* 100 (1–3): 235–248.
- Chapman, S.B. 1976. *Methods in plant ecology*. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 536 s.
- Chen, Z., Chen, W., Leblanc, S.G. & Henry, G.H.R. 2010. Digital photograph analysis for measuring percent plant cover in the Arctic. *Arctic* 63 (3): 315–326.
- Claveran, R.A. 1966. Two modifications to the vegetation photographic charting method. *Journal of Range Management* 19 (6): 371–373.
- Clymo, R.S. 1980. Preliminary survey of the peat-bog Hummell Knowe Moss using various numerical methods. *Vegetatio* 42 (1–3): 129–148.
- Cooper, W.S. 1924. An apparatus for photographic recording of quadrats. *Journal of Ecology* 12 (2): 317–321.
- Cox, S.E. & Booth, D.T. 2009. Shadow attenuation with high dynamic range images. *Environmental Monitoring and Assessment* 158 (1–4): 231–241.

- Crimmins, M.A. & Crimmins, T.M. 2008. Monitoring plant phenology using digital repeat photography. *Environmental Management* 41 (6): 949–958.
- Daubenmire, R. 1959. A canopy-coverage method of vegetational analysis. *Northwest Science* 33 (1): 43–64.
- Definiens 2006. Definiens professional 5 user guide. 5.0.6.1. painos. München, Saksa: Definiens AG. 249 s.
- Dethier, M.N., Graham, E.S., Cohen, S. & Tear, L.M. 1993. Visual versus random-point percent cover estimations: 'objective' is not always better. *Marine Ecology Progress Series* 96 (1): 93–100.
- Dickinson, J., Zuckerberg, B. & Bonter, D.N. 2010. Citizen science as an ecological research tool: challenges and benefits. *Annual Review of Ecology, Evolution & Systematics* 41 (1): 149–172.
- Dietz, H. & Steinlein, T. 1996. Determination of plant species cover by means of image analysis. *Journal of Vegetation Science* 7 (1): 131–136.
- Elzinga, C.L., Salzer, D.W., Willoughby, J.W. & Gibbs, J.P. 2001. Monitoring plant and animal populations. Malden, Massachusetts: Blackwell science. 360 s.
- Floyd, D.A. & Anderson, J.E. 1987. A comparison of three methods for estimating plant cover. *Journal of Ecology* 75 (1): 221–228.
- Friedmann, B., Pauli, H., Gottfried, M. & Grabherr, G. 2011. Suitability of methods for recording species numbers and cover in alpine long-term vegetation monitoring. *Phytocoenologia* 41 (2): 143–149.
- Godinez-Alvarez, H., Herrick, J.E., Mattocks, M., Toledo, D. & Van Zee, J. 2009. Comparison of three vegetation monitoring methods: Their relative utility for ecological assessment and monitoring. *Ecological Indicators* 9 (5): 1001–1008.
- Goodall, D.W. 1952. Some considerations in the use of point quadrats for the analysis of vegetation. *Australian Journal of Biological Sciences* 5 (1): 1–41.
- Gotfryd, A. & Hansell, R.I.C. 1985. The impact of observer bias on multivariate analyses of vegetation structure. *Oikos* 45 (2): 223–234.
- Heikkilä, H., Lindholm, T. & Jaakkola, S. 2002. Soiden ennallistamisopas. Vantaa: Metsähallitus. 123 s.
- Heinonen, S., Hietanen, O., Härkönen, E., Kiiskilä, K. & Koskinen, L. 2003. Kestävän kehityksen tietoyhteiskunnan SWOT-analyysi. Ympäristöklusterin KESTY-

- ohjelman eTieto-hankkeen raportti. Turun kauppakorkeakoulu: Tulevaisuuden tutkimuskeskus. 46 s. Saatavissa: http://www.utu.fi/fi/yksikot/ffrc/julkaisut/tutu-julkaisut/Documents/Tutu_2003-4.pdf. Viitattu 10.2.2013.
- Herzon, I., Helenius, J., Kuussaari, M., Mäkinen, T. & Tiainen, J. 2010. Agri-environmental programme in Finland serving biodiversity: working forward. *Aspects of Applied Biology* 100: 261–270.
- Herzon, I., Toivonen, M., Kankaanpää, O., Mäkinen, T., Delasalle, M., Le Barh, C., Swiderski, C. & Helenius, J. 2012. Luonnonhoitopeltojen ympäristöhyödyt. Teoksessa: Heliölä, J. & Herzon, I. (toim.). Maatilan luontoarvojen mittaaminen – luonnonhoitopellot, erityistukialueet ja tilataso. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. *Suomen ympäristö* 26: 9–40.
- Hämet-Ahti, L., Suominen, J., Uotila, P., Lampinen, R. & Koistinen, M. 1998. *Retkeilykasvio*. 4. painos. Helsinki: Luonnontieteellinen keskusmuseo. 656 s.
- IEEP 2008. The environmental benefits of set-aside in the EU - A summary of evidence. Yhdistynyt kuningaskunta: The Institute for European Environmental Policy (IEEP) for Department for the Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA). 18 s.
- Jukola-Sulonen, E.A.L. & Salemaa, M. 1985. A comparison of different sampling methods of quantitative vegetation analysis. *Silva Fennica* 19 (3): 325–337.
- Kennedy, K.A. & Addison, P.A. 1987. Some considerations for the use of visual estimates of plant cover in biomonitoring. *Journal of Ecology* 75 (1): 151–157.
- Kent, M. & Coker, P. 1992. *Vegetation description and analysis : a practical approach*. London: Belhaven. 363 s.
- Kercher, S.M., Frieswyk, C.B. & Zedler, J.B. 2003. Effects of sampling teams and estimation methods on the assessment of plant cover. *Journal of Vegetation Science* 14 (6): 899–906.
- Klimeš, L. 2003. Scale-dependent variation in visual estimates of grassland plant cover. *Journal of Vegetation Science* 14 (6): 815–821.
- Knoth, C., Klein, B., Prinz, T. & Kleinebecker, T. 2013. Unmanned aerial vehicles as innovative remote sensing platforms for high-resolution infrared imagery to support restoration monitoring in cut-over bogs. *Applied Vegetation Science* DOI: 10.1111/avsc.12024 : 1–9. Viitattu 30.1.2013.

- Korb, J.E., Covington, W.W. & Fulé, P.Z. 2003. Sampling techniques influence understory plant trajectories after restoration: An example from ponderosa pine restoration. *Restoration Ecology* 11 (4): 504–515.
- Kuussaari, M., Heliölä, J., Tiainen, J. & Helenius, J. 2008. Maatalouden ympäristötuen merkitys luonnon monimuotoisuudelle ja maisemalle: MYTVAS-loppuraportti 2000–2006. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 4/2008: 1–69.
- Küchler, A.W., Zonneveld, I.S., Tüxen, R. & Lieth, H. 1988. Vegetation mapping. Handbook of vegetation science, 10. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 635 s.
- Laliberte, A.S., Rango, A., Herrick, J.E., Fredrickson, E.L. & Burkett, L. 2007. An object-based image analysis approach for determining fractional cover of senescent and green vegetation with digital plot photography. *Journal of Arid Environments* 69 (1): 1–14.
- Lepš, J. & Hadincová, V. 1992. How reliable are our vegetation analyses? *Journal of Vegetation Science* 3 (1): 119–124.
- Levy, E.B. & Madden, E. 1933. The point method of pasture analysis. *New Zealand Journal of Agriculture* 46 (5): 267–279.
- Louhaichi, M., Johnson, M.D., Woerz, A.L., Jasra, A.W. & Johnson, D.E. 2010. Digital charting technique for monitoring rangeland vegetation cover at local scale. *International Journal of Agriculture and Biology* 12 (3): 406–410.
- Luscier, J.D., Thompson, W.L., Wilson, J.M., Gorham, B.E. & Dragut, L.D. 2006. Using digital photographs and object-based image analysis to estimate percent ground cover in vegetation plots. *Frontiers in Ecology and the Environment* 4 (8): 408–413.
- Milberg, P., Bergstedt, J., Fridman, J., Odell, G. & Westerberg, L. 2008. Observer bias and random variation in vegetation monitoring data. *Journal of Vegetation Science* 19 (5): 633–644.
- MMM 2000. Maa- ja metsätalousministeriön asetus ympäristötuen perus- ja lisätoimenpiteistä. Asetus 646/2000. Annettu 30.6.2000. Finlex® sähköinen säädöstietopankki: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2000/20000646>. Viitattu 18.1.2013.
- MMM 2009. Maa- ja metsätalousministeriön asetus maatalouden ympäristötuen perus- ja lisätoimenpiteistä ja maatalouden ympäristötuen erityistuista annetun maa- ja metsätalousministeriön asetuksen muuttamisesta. Asetus 246/2009. Annettu

17.4.2009. Finlex® sähköinen säädöstietopankki:
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090246>. Viitattu 18.1.2013.

Mueller-Dombois, D. & Ellenberg, H. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. New York: John Wiley and Sons. 547 s.

Muukkonen, P., Mäkipää, R., Laiho, R., Minkkinen, K., Vasander, H. & Finér, L. 2006. Relationship between biomass and percentage cover in understorey vegetation of boreal coniferous forests. *Silva Fennica* 40 (2): 231–245.

Neeser, C., Martin, A.R., Juroszek, P. & Mortensen, D.A. 2000. A comparison of visual and photographic estimates of weed biomass and weed control. *Weed Technology* 14 (3): 586–590.

Owens, M.K., Gardiner, H.G. & Norton, B.E. 1985. A photographic technique for repeated mapping of rangeland plant populations in permanent plots. *Journal of Range Management* 38 (3): 231–232.

Pakarinen, P. 1984. Cover estimation and sampling of boreal vegetation in northern Europe. Teoksessa: K. R. (toim.). Sampling methods and taxon analysis in vegetation science. *Handbook of Vegetation Science* 4. The Hague: Junk. s. 35–44.

Raatikainen, K. (toim.) 2009. Perinnebiotooppien seurantaohje. Vantaa: Metsähallitus. 109 s.

Rantamäki-Lahtinen, L., Riipi, I., Saastamoinen, M., Leppälä, J., Rautiainen, R., Järvinen, M., Herzon, I., Marjamäki, H., Spinzke, S. ja Kolstrup, C. 2012. InnoEquine – Kestävä ja innovatiivinen hevostalous Kesken Itämeren alueen kilpailukyyn edistäjänä. Maataloustieteiden päivät, Helsinki 10.–11.1.2012. Poster.

Rico-García, E., Hernández-Hernández, F., Soto-Zarazúa, G.M. & Herrera-Ruiz, G. 2009. Two new methods for the estimation of leaf area using digital photography. *International Journal of Agriculture and Biology* 11 (4): 397–400.

Robel, R.J., Briggs, J.N., Dayton, A.D. & Hulbert, L.C. 1970. Relationships between visual obstruction measurements and weight of grassland vegetation. *Journal of Range Management*, 23 (4): 295–297.

Roshier, D., Lee, S. & Boreland, F. 1997. A digital technique for recording of plant population data in permanent plots. *Journal of Range Management* 50 (1): 106–109.

- Röttgermann, M., Steinlein, T., Beyschlag, W. & Dietz, H. 2000. Linear relationships between aboveground biomass and plant cover in low open herbaceous vegetation. *Journal of Vegetation Science* 11 (1): 145–148.
- Seefeldt, S.S. & Booth, D.T. 2006. Measuring plant cover in sagebrush steppe rangelands: A comparison of methods. *Environmental Management* 37 (5): 703–711.
- de Snoo, G.R., Vletter, W., Musters, C.J.M & van Dijk, J. Julkaisematon. How nice is biodiversity? Biodiversity and valuation of field margins in agricultural landscapes. Käsikirjoitus.
- Stohlgren, T.J., Bull, K. & Otsuki, Y. 1998. Comparison of rangeland vegetation sampling techniques in the central grasslands. *Journal of Range Management* 51 (2): 164–172.
- Sykes, J.M., Horrill, A.D. & Mountford, M.D. 1983. Use of visual cover assessments as quantitative estimators of some British woodland taxa. *Journal of Ecology* 71 (2): 437–450.
- Symstad, A.J., Wienk, C.L. & Thorstenson, A.D. 2008. Precision, repeatability, and efficiency of two canopy-cover estimate methods in northern Great Plains vegetation. *Rangeland Ecology and Management* 61 (4): 419–429.
- Tiainen, J., Kuussaari, M., Laurila, I.P. & Toivonen, T. (toim.) 2004. Elämää pellossa : Suomen maatalousympäristön monimuotoisuus. Helsinki: Edita. 366 s.
- Tike 2010. Käytössä oleva maatalousmaa 2010. <http://www.maataloustilastot.fi/kaytossa-oleva-maatalousmaa-2010.fi>. Tike (Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus): Matilda-maataloustilastopalvelu. Julkaistu 16.12.2010. Viitattu 17.1.2013.
- Tike 2012. Käytössä oleva maatalousmaa 2012. <http://www.maataloustilastot.fi/kaytossa-oleva-maatalousmaa>. Tike (Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus): Matilda-maataloustilastopalvelu. Julkaistu 8.1.2013. Viitattu 17.1.2013.
- Tilman, D. 1997. Community invasibility, recruitment limitation, and grassland biodiversity. *Ecology* 78 (1): 81–92.
- Toivonen, M., Herzon, I. & Helenius, J. 2013. Environmental fallows as a new policy tool to safeguard farmland biodiversity in Finland. *Biological Conservation* 159: 355–366.

- Turtola, E. & Lemola, R. (toim.) 2008. Maatalouden ympäristötuen vaikutukset vesistökuormitukseen, satoon ja viljelyn talouteen v. 2000–2006 (MYTVAS 2). Jokioinen: Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. 103 s.
- Walker, B.H. 1970. An evaluation of eight methods of botanical analysis on grasslands in Rhodesia. *Journal of Applied Ecology* 7 (3): 403–416.
- Vandenberghe, C., Prior, G., Littlewood, N.A., Brooker, R. & Pakeman, R. 2009. Influence of livestock grazing on meadow pipit foraging behaviour in upland grassland. *Basic and Applied Ecology* 10 (7): 662–670.
- Vanha-Majamaa, I., Salemaa, M., Tuominen, S. & Mikkola, K. 2000. Digitized photographs in vegetation analysis – a comparison of cover estimates. *Applied Vegetation Science* 3 (1): 89–94.
- Wilson, J.W. 1963. Errors resulting from thickness of point quadrats. *Australian Journal of Botany* 11 (2): 178–188.
- Wilson, J.B. 2011. Cover plus: ways of measuring plant canopies and the terms used for them. *Journal of Vegetation Science* 22 (2): 197–206.
- Vittoz, P. & Guisan, A. 2007. How reliable is the monitoring of permanent vegetation plots? A test with multiple observers. *Journal of Vegetation Science* 18 (3): 413–422.
- Zerger, A., Gobbett, D., Crossman, C., Valencia, P., Wark, T., Davies, M., Handcock, R.N. & Stol, J. 2012. Temporal monitoring of groundcover change using digital cameras. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 19: 266–275.
- Zhou, Q. & Robson, M. 2001. Automated rangeland vegetation cover and density estimation using ground digital images and a spectral-contextual classifier. *International Journal of Remote Sensing* 22 (17): 3457–3470.

LIITTEET

Liite 1: Esimerkkikuvia tutkimusruuduilta



Kuva 1. Tutkimusruutu, jolla on suuri yksisirkkaisten kasvien peittävyys ja vähäinen lajirikkaus.



Kuva 2. Tutkimusruutu, jolla on suuri kaksisirkkaisten kasvien peittävyys ja suuri lajirikkaus.



Kuva 3. Tutkimusruutu, jolla on suuri karikkeen ja yksisirkkaisten kukintojen peittävyys, ja jonka kasvusto on pääosin matalaa ja harvaa.



Kuva 4. Tutkimusruutu, jolla on suhteellisen suuri paljaan maan peittävyys, ja jonka kasvusto on pääosin matalaa ja harvaa.



Kuva 5. Tutkimusruutu, jolla on suuri kasvilajirikkaus, ja osin todella korkeita kasveja.



Kuva 6. Tutkimusruutu, jolla on suuri varjoisten kohtien peittävyys.